

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE FRUTOS  
DE CUATRO GENOTIPOS DE PIMIENTO MORRÓN BAJO INVERNADERO

**Tesis**

Que presenta LORENA SILVESTRE CASTAÑEDA  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS


Saltillo Coahuila


Diciembre 2022


EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE FRUTOS  
DE CUATRO GENOTIPOS DE PIMIENTO MORRÓN BAJO INVERNADERO


Tesis

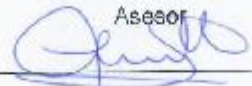
Elaborada por LORENA SILVESTRE CASTAÑEDA como requisito parcial  
para obtener el Grado de Maestro en Tecnología de Granos y Semillas, con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría


  
Dr. Neymar Camposeco Montejo  
Asesor Principal

  
Dr. Josué Israel García López  
Asesor

  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Asesor

  
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres  
Asesor

  
Dra. Xochitl Ruelas Chacón  
Asesor

  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado UAAAN

Saltillo Coahuila

Diciembre 2022

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** primeramente por haberme dado la gracia de la vida, por brindarme una familia que ha creído en mí siempre y me ha apoyado, gracias señor por estar en cada momento de mi vida, iluminando mi mente y corazón. Por darme salud y fortaleza para llegar hasta esta etapa de mi vida.

A mi **ALMA TERRA MATER**, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme las puertas y formarme en mi vida profesional, gracias por ser mi segunda casa durante mis años de estudio tanto a nivel Licenciatura y actualmente en Maestría. Gracias por haberme permitido conocer a grandes amigos, compañeros y maestros; aquellos que formaron parte de mi desarrollo Académico.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT**, por aportar los recursos económicos para poder culminar mis estudios y estancia de maestría.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo**, por brindarme su apoyo moral y profesional, por compartir sus conocimientos y experiencias. Gracias por el tiempo dedicado al desarrollo y formación profesional. Por sus aportaciones y sugerencias recibidas para el desarrollo del trabajo de investigación con su calidez humana que lo caracteriza.

Al **Dr. Josué Israel García López**, por compartir sus conocimientos y ser parte de mi formación académica, por las aportaciones y sugerencias para el logro de mi trabajo de investigación.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda**, por su apoyo moral y compartir sus experiencias, por su motivación a seguir superándome, así como sus aportaciones para el desarrollo de trabajo de investigación y profesional.

A la **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres**, por sus correcciones y sugerencias, así como el apoyo moral y profesional recibido. Por formar parte de mi trabajo de investigación y el tiempo dedicado a mi desarrollo académico.

A la **Dra. Xochitl Ruelas Chacón**, por formar parte de mi trabajo de investigación, así como sus aportaciones y sugerencias recibidas para mi desarrollo y formación académica.

A mi compañera de maestría **Eddaliz García Reyes** por el apoyo, compañerismo y experiencias vividas durante mi estancia.

Al **Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas** por aportar el material genético para el desarrollo de mi trabajo de investigación, así como los Doctores que conforman el núcleo académico de la Maestría, los cuales fueron parte de mi formación académica con sus cursos impartidos, apoyo moral y experiencias compartidas.

A la estudiante de Licenciatura **Nanci Pérez Godínez** la cual me apoyo en el desarrollo de mi trabajo de investigación.

## DEDICATORIA

A mis padres, **Leandro Silvestre Olvera** y **Antonia Castañeda Zapatero** por darme la vida, por siempre creer en mí, por el apoyo incondicional y sobre todo por brindarme su amor y cariño que ha sabido forjarme haciendo de mi la persona que soy.

A mis Hermanos **Alejandro Silvestre Castañeda** y **Adela Silvestre Castañeda** quienes me han brindado todo su amor, cariño y apoyo incondicional, los que han creído en mí.

A mi cuñada **Erika Méndez Domínguez** quien me ha brindado su amistad y apoyo incondicional, por estar ahí cuando lo necesito.

A mis sobrinos **Anahí, Yazmín, Antonio** y **María de Jesús** los cuales adoro y quiero mucho.

A mis amigas **Blanca Lourdes Roblero Hernández** y **Carmen Lizbeth Prestegui García**, quienes me han alentado, apoyado y motivado en todos mis proyectos y metas a pesar de la distancia.

Al resto de **amigos y compañeros** que han contribuido al desarrollo y formación profesional, así como **aquellas personas que estuvieron y ahora ya no están**, gracias por aportar en su momento cosas importantes, forjando la mujer que actualmente soy.

## Índice General

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA .....	v
Lista de Cuadros.....	viii
Lista de Figuras .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
ORIGEN DEL CULTIVO .....	4
IMPORTANCIA.....	5
MEJORAMIENTO Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS .....	8
Objetivo del mejoramiento.....	10
Métodos de mejoramiento en <i>Capsicum</i> .....	10
MEJORAMIENTO EN <i>CAPSICUM</i> EN MÉXICO.....	12
MEJORAMIENTO EN PIMIENTO MORRÓN.....	13
IMPORTANCIA DE EVALUACIONES AGRONÓMICAS Y NUTRICIONALES DEL PIMIENTO..	14
Variedades .....	15
PRODUCCIÓN DE HÍBRIDOS.....	16
LIMITANTES EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO MORRÓN.....	17
CALIDAD Y MEJORA GENÉTICA DEL PIMIENTO .....	18
COMPONENTES DEL VALOR NUTRICIONAL DEL FRUTO DEL PIMIENTO.....	18
Variables de la calidad de Frutos .....	18
Color de madurez.....	19
Grosor de la pared del fruto.....	19
Firmeza .....	20
Sólidos solubles totales .....	20
Capacidad antioxidante .....	20
Carotenoides totales .....	21
Compuestos fenólicos .....	21
Minerales en el fruto y hoja de pimiento.....	21
Comercialización y clasificación de pimiento morrón .....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	23
Ubicación.....	23

Material vegetal .....	23
Establecimiento en campo y manejo del cultivo .....	23
Evaluación de variables agronómicas del cultivo .....	24
Cuantificación del rendimiento y sus componentes.....	24
Evaluaciones fisicoquímicas del fruto.....	25
Determinaciones bioquímicas .....	26
Fenoles totales .....	26
Capacidad antioxidante .....	27
Carotenoides .....	28
Contenido de minerales.....	29
Clasificación comercial .....	30
Diseño experimental y análisis estadístico .....	30
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>DESEMPEÑO AGRONÓMICO .....</b>	<b>31</b>
<b>COMPONENTES DE RENDIMIENTO. ....</b>	<b>32</b>
<b>EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA .....</b>	<b>34</b>
Prueba de color .....	35
Determinaciones bioquímicas .....	36
Contenido de minerales en fruto y hoja de pimiento morrón .....	37
Clasificación comercial de pimiento .....	42
<b>DESEMPEÑO AGRONÓMICO .....</b>	<b>43</b>
<b>COMPONENTES DE RENDIMIENTO .....</b>	<b>44</b>
<b>EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>DETERMINACIONES BIOQUÍMICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>CONTENIDO DE MINERALES .....</b>	<b>48</b>
<b>CLASIFICACIÓN COMERCIAL.....</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>52</b>

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Solución nutritiva y los porcentajes utilizados en las etapas del cultivo de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero.....	23
<b>Cuadro 2.</b> ANVA y prueba de medias de indicadores de desempeño agronómico de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluadas bajo invernadero.....	32
<b>Cuadro 3.</b> ANVA y prueba de medias de rendimiento y componentes de rendimiento en cuatro genotipos de pimiento morrón evaluadas bajo invernadero. ....	34
<b>Cuadro 4.</b> ANVA y prueba de medias de sólidos solubles totales, firmeza de fruto y grosor de mesocarpio de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluadas bajo invernadero. ....	35
<b>Cuadro 5.</b> Parámetros cromáticos de frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo invernadero .....	36
<b>Cuadro 6.</b> ANVA y prueba de medias de fenoles, carotenoides y capacidad antioxidante (ABTS, DDPH y FRAP) de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero.....	37
<b>Cuadro 7.</b> Contenido de minerales en frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón probados bajo invernadero. ....	39
<b>Cuadro 8.</b> Contenido de minerales en follaje de cuatro genotipos de pimiento morrón probados bajo invernadero. ....	41



## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Cantidad de producción promedio de pimientos por país (2019-2020). .....	6
<b>Figura 2.</b> Proporción de producción promedio de pimientos por región (2019-2020). .....	7
<b>Figura 3.</b> Comparación de medias y desviación estándar entre cuatro genotipos de pimiento morrón en número de semillas. ....	31
<b>Figura 4.</b> Comparación de medias y desviación estándar de número de frutos por planta (A) y longitud de fruto (B) de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero. ....	33
<b>Figura 5.</b> Comparación de medias y desviación estándar de contenido de nitrógeno (A) y manganeso (B) en frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero. ....	38
<b>Figura 6.</b> Concentración del mineral hierro (A) y cobre (B) en frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero. ....	40
<b>Figura 7.</b> Clasificación comercial por tamaño y peso de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero. P-01=genotipo 1, P-02=genotipo 2, P-03=genotipo 3 y P-04=genotipo 4. ....	42

## **RESUMEN**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE FRUTOS  
DE CUATRO GENOTIPOS DE PIMIENTO MORRÓN BAJO INVERNADERO**

**POR**

**LORENA SILVESTRE CASTAÑEDA  
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO-ASESOR**

Ante la importancia económica y comercial del pimiento morrón, se busca mediante selección de genotipos la obtención de semillas mejoradas genéticamente, insumo que potencializa los rendimientos, mediante el desarrollo de variedades con potencial productivo y calidad nutricional. El objetivo fue evaluar el desempeño agronómico de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero, el experimento se estableció en un invernadero del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, utilizando cuatro genotipos de pimiento morrón identificados como P-01, P-02, P-03 y P-04 pertenecientes al germoplasma del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad. El diseño experimental y modelo estadístico fueron completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones cada uno. Se identificaron diferencias estadísticas significativas en número de frutos por planta destacando P-03, P-04 con 13.81 y 13.53 frutos, en longitud de fruto el P-01 supero en más de 16.5 % al resto de los genotipos. Para evaluaciones de calidad de frutos, no existieron diferencias significativas, pero si, incremento del 10% en firmeza y GroM en P-03 y P-04. El P-04 fue un 22% superior, el P-03 tuvo un 52% más de carotenoides, P-01 destaco en capacidad antioxidante con 6 y 15 % (ABTS y FRAP) y P-02 en un 26% (DDPH). En cuanto a la calidad nutricional de fruto, el genotipo P-04 y P-01 cuenta con mayor potencial de absorción y concentración de nutrientes, con el N y Mn, así como una tendencia en el resto de macroelementos. El color de los frutos fue significativamente diferente, con el color de fruto que podría ser rojo amarillo. El P-02 y P-03 destacan en clasificación comercial, con mayor cantidad de frutos entre 180 a 239 g (L). Las variables con diferencias entre tratamientos, pueden dar lugar a la selección de genotipos de mejor calidad comercial y mayor cuaje de frutos.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, rendimiento, selección, potencial productivo, calidad.

**ABSTRACT**

EVALUATION OF THE AGRONOMIC PERFORMANCE AND QUALITY OF  
FRUITS OF FOUR PEPPER GENOTYPES UNDER GREENHOUSE  
CONDITIONS

BY

LORENA SILVESTRE CASTAÑEDA

MASTER'S IN TECHNOLOGY OF GRAINS AND SEEDS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO-ADVISOR

Saltillo Coahuila

December 2022

Given the economic and commercial importance of bell peppers, genetically improved seeds are picked through genotype selection, an input that enhances yields, through the development of varieties with productive potential and nutritional quality. The objective of this research work was to evaluate the agronomic performance of four bell pepper genotypes under greenhouse conditions. The experiment was established in a greenhouse of the Plant Breeding Department of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, using four bell pepper genotypes identified as P-01, P -02, P-03 and P-04, belonging to the germplasm of the Center for Training and Development in Seed Technology of the University. The experimental design and statistical model were a completely randomized with four treatments and four repetitions each. Significant statistical differences were identified for the number of fruits per plant variable, highlighting P-03, P-04 with 13.81 and 13.53 fruits, in fruit length P-01 exceeded the rest of the genotypes by more than 16.5%. For fruit quality evaluations, there were no significant differences, but there was a 10% increase in firmness and GroM in P-03 and P-04. For the antioxidant capacity, P-04 was 22% higher, P-03 had 52% more carotenoids, P-01 stood out with 6 and 15% (ABTS and FRAP) and P-02 by 26% (DDPH). Regarding the nutritional quality of the fruit, the P-04 and P-01 genotypes have a greater potential for absorption and concentration of nutrients, with N and Mn, as well as a trend in the rest of the macro elements. The color of the fruits was significantly different, with the color of the fruit being red-yellow. The P-02 and P-03 stand out in commercial classification, with a greater quantity of fruits between 180 and 239 g (L). Variables with differences between treatments can lead to the selection of genotypes of better commercial quality and higher fruit set.

**Keywords:** *Capsicum annuum*, yield, selection, productive potential, quality.

## INTRODUCCIÓN

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) perteneciente a la familia de las solanáceas, cuenta con gran demanda en la India, medio oriente, EE.UU. Europa y países del sudeste asiático. Es una verdura que ha llamado la atención de agricultores, consumidores y comerciantes del mercado internacional, debido a su rico perfil nutricional y su potencial de exportación creciente (Devi *et al.*, 2021). En el 2020 el área cosechada mundial fue de 2,069,990 hectáreas, de las cuales se obtuvo una producción de frutos de 36, 136,996 toneladas, con un rendimiento promedio de 17.45 toneladas por hectárea (FAO, 2022). Es un fruto generalmente de forma cuadrada (blocky), de pulpa gruesa, de tres a cuatro lóculos y no picantes; representando un grupo de vegetal muy utilizado en la cocina internacional y en la mexicana continua su expansión. Su creciente demanda ha dado importancia al desarrollo de nuevas variedades e híbridos (Joshi y Berke, 2004; SAGARPA, 2017), ante esta demanda alimentaria, se requiere redoblar los esfuerzos para el desarrollo de nuevas variedades de alto potencial de rendimiento y calidad de fruto, donde México cuenta con los recursos genéticos para el desarrollo, generación y utilización de variedades superiores.

La agricultura protegida permite reducir costos de producción, así mismo, ha sido efectiva promoviendo la autosuficiencia de cultivos estratégicos. En México, en estos sistemas, un importante porcentaje de las semillas que se utilizan proviene de empresas extranjeras a costos elevados; cabe destacar que un uso eficiente de insumos sucede con el uso de semilla mejorada, donde el potencial productivo del cultivo depende en gran medida de la aplicación de esta tecnología (Luna *et al.*, 2021; Naderi *et al.*, 2019). El pimiento ocupó el séptimo lugar de los principales productos agroalimentarios exportados por parte de México en el 2020, con un valor de 1,527 millones de dólares, siendo su principal mercado el país de Japón (SIAP, 2021). México reportó en el 2021 una superficie de pimiento morrón de 7,207 hectáreas sembradas y una producción de 567,350 toneladas, de las cuales 2,103 se producen bajo invernadero con una producción de 226,

374 toneladas a nivel nacional con un rendimiento medio de 107 toneladas por hectárea (SIAP, 2021).

Estudios han demostrado que el pimiento cuenta con el potencial de rendimiento, así como nutricional, donde el fruto contiene compuestos bioactivos en gran cantidad, como fenoles, flavonoides, carotenoides, antioxidantes y vitaminas (Loizzo *et al.*, 2015). Así mismo, los pimientos presentan una amplia variabilidad genética, en consecuencia, una amplia gama de aplicaciones y usos. Donde los estudios sobre diversidad genética ayudan a comprender la variabilidad existente y la conservación de los recursos genéticos, permitiendo así a los mejoradores seleccionar genotipos superiores que satisfagan las necesidades de los programas de mejoramiento (Silva y Silva, 2021). La mejora de los pimientos actualmente no solo se limita a obtener mayores rendimientos y resistencia a plagas y/o enfermedades, también, se requieren de variedades con frutos de color, acritud y calidad nutricional deseable, en combinación con la resistencia a plagas, enfermedades, así como a tolerancias a calor, frío, sequía y a la salinidad, que representan importantes objetivos de mejoramiento, donde el desarrollo y la implementación de cultivares híbridos son aspectos clave de la producción de pimiento morrón, sobre todo bajo tecnologías como los invernaderos (Devi *et al.*, 2021). Los aspectos y compuestos antes mencionados pueden ser utilizados como caracteres de selección de variedades. Por tal motivo, el presente estudio planteó como objetivo, evaluar el desempeño agronómico de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero, y determinar el contenido nutricional de sus frutos.

## **Objetivo general**

Evaluar el desempeño agronómico de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero, y determinar el contenido nutricional de sus frutos.

## **Objetivos específicos**

- Determinar el rendimiento y componentes de rendimiento de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar el desempeño morfológico de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar las características fisicoquímicas de cuatro genotipos de pimiento morrón en laboratorio, para determinar la calidad nutricional y nutracéutica del fruto.

## **Hipótesis**

**H<sub>0</sub>:** Al menos uno de los genotipos de pimiento tendrá un mejor desempeño agronómico bajo condiciones de invernadero, y una mayor concentración de compuestos nutricionales en el fruto.

**H<sub>1</sub>:** Todos los genotipos de pimiento tendrán el mismo desempeño agronómico bajo condiciones de invernadero, y la concentración de compuestos nutricionales en el fruto no presentará diferencias.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del cultivo

*Capsicum annuum* L. es un importante cultivo hortícola en todo el mundo. El género *Capsicum* pertenece a la familia de las Solanáceas, con aproximadamente 35 especies (Carrizo *et al.*, 2013). El origen del pimiento se postula a lo largo de los Andes del oeste al noroeste de América del Sur. La expansión del género ha seguido de la cuenca del Amazonas hacia el centro y sureste de Brasil, luego de vuelta al oeste de América del Sur y finalmente hacia el norte de América central. La diversificación de *Capsicum* ha culminado en el origen de las principales especies cultivadas en varias regiones de América del Sur y central (Carrizo *et al.*, 2016). De acuerdo con Pérez-Castañeda *et al.* (2015) los estudios sobre el análisis filogenético y de diversidad de género de *Capsicum*, enfatizando las relaciones genéticas, niveles de variabilidad genética y diversidad inter e intraespecífica, identificaron a dichas regiones como centros de origen y de diversidad del género *Capsicum*.

El estudio del origen de los cultivos ha implicado la identificación de áreas geográficas de alta diversidad morfológica, muestreando poblaciones de especies progenitoras silvestres y la recuperación arqueológica de macrorestos. Kraft *et al.* (2014) hace referencia a que la domesticación de *C. annuum* podría haber ocurrido en el noreste y centro-este de México, donde las evidencias genéticas en conjunto con cuatro líneas de evidencia apoyan este supuesto. Bajo este mismo esquema, una de las evidencias más antiguas de la domesticación en chiles, se encontró en la cueva del Valle de Tehuacán (centro-sur de México), aproximadamente entre 5000 y 6000 a. C. (Perry *et al.*, 2007; Pickersgill, 2007). Como se expresó anteriormente, la domesticación de *C. annuum* podría haber acontecido en el noreste o en el centro-este de México; teniendo como domesticación, cinco de las 33 especies de *Capsicum*, *C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz Pav.

en los trópicos americanos; pero los programas de mejoramiento se han concentrado en los cultivares no picantes de *C. annuum* L. (Kraft *et al.*, 2014; Pickersgill, 1997). De manera que, existe una riqueza constituida por la diversidad genética del chile, que se encuentra distribuida en todo lo extenso del territorio Nacional, con un amplio grupo de especies silvestres que podrían aportar importantes genes de interés en los programas de mejoramiento de la especie (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

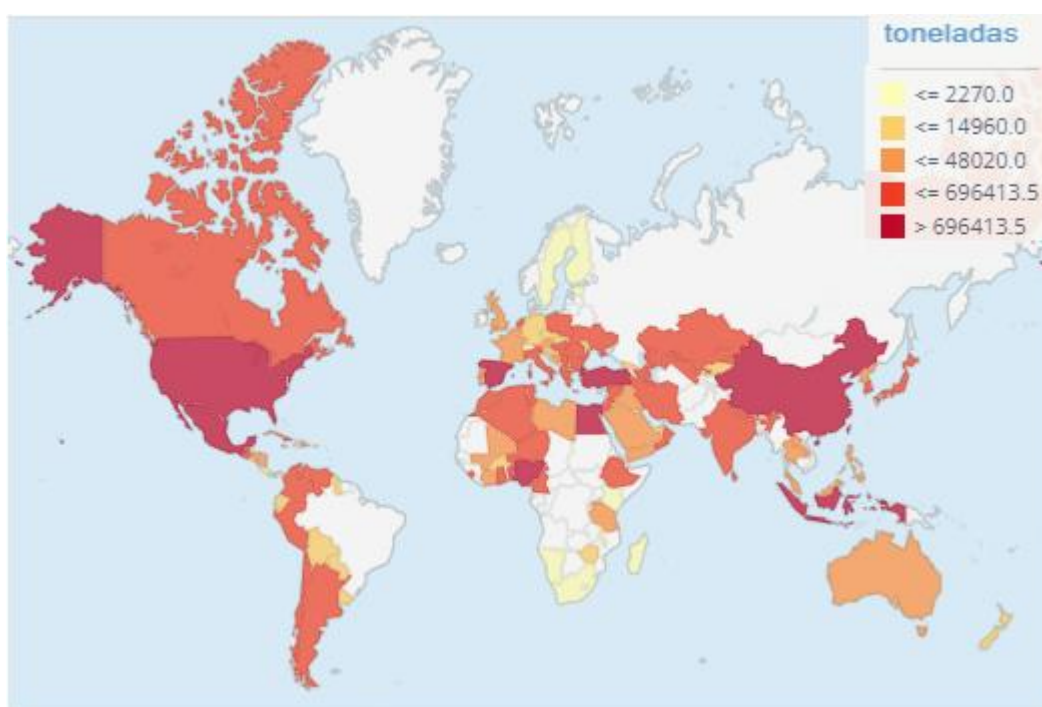
### **Importancia**

El pimiento es muy consumido en el mundo, ya sea como verdura o en especia, esto debido a su acritud. El *Capsicum annuum* L. es producido de forma intensiva en el mundo, siendo considerado un cultivo comercial por su alto valor económico. Presenta una gran distribución a nivel mundial y suele consumirse en crudo o cocido y utilizarse como aditivo en la industria alimentaria. Además, por su sabor y color atractivo (carotenoides) es muy utilizado en la cocina internacional y nacional (Madhavi *et al.*, 2016). El chile es de gran importancia en el ámbito mundial, según reporta la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), convirtiéndose en la principal especia, con un valor de producción bruta reportado para el año 2020 de 33,638,741 US\$, donde su importancia social y económica radica en que, es un producto altamente demandado en los mercados nacionales e internacionales de exportación.

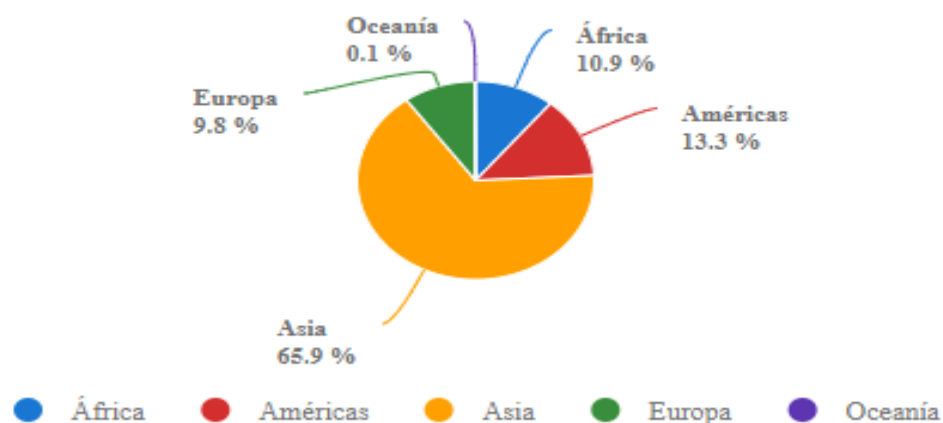
### **Producción mundial**

De acuerdo con la FAO (2022) China y México fueron los principales países productores de pimientos en el 2020, con una producción de 16,650,855 y 2,818,443 toneladas (Figura 1). La producción de pimiento en el mundo para este mismo año fue de 36,136,996 toneladas y un área cosechada de 2,069,990. Además, Asia encabeza la zona con mayor porcentaje de producción, seguida de América con un 65.9 y 13.3 % respectivamente, en el período 2019-2020 (Figura 2). El Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

confirma que, China ocupa el primer lugar, generando 19 millones de toneladas de chile al año, seguido de México con 3,324,260 toneladas. En cuanto al comercio exterior, el pimiento y el jalapeño en fresco fueron las dos hortalizas en lograr récord en el volumen comercializado, con una mayor relevancia comercial para el año 2020. Destacando que, en este mismo año México, China y España se posicionaron como los máximos exportadores del mundo, con ventas individuales, excediendo en millones de toneladas (SIAP, 2021).



**Figura 1.** Cantidad de producción promedio de pimientos por país (2019-2020).  
Fuente: FAO,2022.



**Figura 2.** Proporción de producción promedio de pimientos por región (2019-2020).

Fuente: FAO,2022.

### Producción nacional

Para el caso de la producción agrícola, México reportó para el año 2020 un valor de producción bruta (miles ML) de 34,012,020 (FAO, 2022). En cuanto a la producción de pimiento morrón a nivel país, México reportó en el 2021 una superficie de pimiento morrón de 7,207 hectáreas sembradas y una producción de 567,350 toneladas, de las cuales 2,103 se producen bajo invernadero con una producción de 226, 374 toneladas a nivel nacional con un rendimiento medio de 107 toneladas por hectárea (SIAP, 2021). Los principales estados productores de chile pimiento son: Sinaloa, Sonora, Guanajuato y Jalisco con 3,620, 1618, 524 y 470 hectáreas cultivadas respectivamente. Englobando mercados nacionales y de exportación, la contribución de estos cuatro estados en cuanto a superficie y valor de producción es 85 %.

En el 2020 el pimiento se posicionó en el séptimo lugar de los principales productos agroalimentarios exportados, con un valor de 1,527 millones de dólares, siendo su principal mercado el país de Japón; el segundo mayor comprador es Canadá; prefiriendo variedades dulces, como el bell o campana. Cabe mencionar que, México destaca entre los 100 países dedicados a este

cultivo con un 8.3% de la producción total mundial (SIAP 2021). El *Capsicum annuum* es usado como condimento, haciéndolo importante en la dieta del mexicano; en los últimos 10 años se pudo observar una tendencia positiva al registrar una tasa anual media de crecimiento de 5.1%; con un consumo anual per cápita de 17.2 Kg y con un 20.6% de participación en la producción nacional de hortalizas. Además de la importancia económica, el chile tiene fuerte impacto social en las diferentes zonas de producción, puesto que, el cultivo demanda más de 24 millones de jornales al año, extendiéndose sus beneficios colateralmente hacia la industria de agroquímicos, transporte, almacenamiento y comercio en general. En este mismo contexto, México trae consigo amplia demanda del cultivo, tanto en el país como en el mercado de exportación, ya que tiene la mayor variabilidad de *Capsicum annuum* y sus parientes silvestres, con un gran número de tipos de chiles adaptados a diferentes condiciones agroecológicas, (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2018).

En la última década el cultivo de pimiento bajo invernadero ha tomado gran importancia por la generación de empleos y flujo económico generado con su comercialización, especialmente para la exportación (INTAGRI, 2013). En lo que respecta a la exportación, los agricultores, productores y otras empresas agrícolas requieren información para evaluar las condiciones de mercado, identificando tendencias para tomar decisiones de compra, así como monitorear patrones de precios, evaluaciones de quipos de transporte y finalmente analizar los mejores movimientos a realizar (USDA, 2022).

### **Mejoramiento y selección de genotipos**

El fitomejoramiento, es el principal proceso que transforma un componente de la biodiversidad en un recurso genético y finalmente en un producto con valor económico-comercial en el mercado moderno. El mercado actual exige alta calidad y producción con bajo costo, algo rarísimo de encontrar en la naturaleza. Es por eso que, el componente antes mencionado es muy raro encontrarlo en la biodiversidad, esto sin la necesidad de transformarlo y adecuarlo a las

necesidades del hombre (Vallejo y Estrada, 2013). El mejoramiento genético ha sido una de las estrategias de respuesta desarrollada por medio de hibridación, donde la hibridación ha sido un método que permite obtener rendimientos más altos en cruzas simples o dobles, ha permitido transformar genotipos con poca adaptabilidad ambiental y poca interacción en el ambiente a genotipos sobresalientes (Segovia y Romero, 2014).

Las prioridades en los programas de mejoramiento dependerán de cómo se usan para cada tipo de cultivo, su procesamiento y la manera en la que es desarrollado. Es por eso que, en el mejoramiento genético la primera etapa es comprender el mercado y sus exigencias (Ramírez y Méndez, 2018). Entre países han ampliado la variabilidad del recurso genético de Chile en los bancos de germoplasma, estas acciones han generado conocimiento sobre diversidad genética, aplicándose en la estimación de la variabilidad genética de *Capsicum*. Estas estimaciones han permitido incrementar la variabilidad y utilizarla en el mejoramiento genético del cultivo (Pérez-Castañeda, 2015).

Investigaciones como las de Aguilar-Meléndez *et al.* (2018) mencionan que el mejoramiento genético de Chile sigue un esquema de hibridación, endocria y selección, conocido como selección genealógica o método de pedigrí. El utilizar técnicas de mejoramiento genético convencional (premejoramiento) para selección de genotipos élite de mayor productividad y un elevado contenido nutricional, ha sido gracias al conocimiento previo de la variabilidad genética del *Capsicum annuum*, ya que al conservar el germoplasma se puede utilizar en futuros programas de mejoramiento genético basados en la productividad, uniformidad, tamaño y color (Cuarán *et al.*, 2022), los rasgos antes comentados expanden la posibilidad de selección de materiales que presentan atributos promisoros y deseables para el mercado consumidor en expansión.

Además, es importante mencionar que el mejoramiento se realiza con la ayuda del fitomejorador, y es este quien realiza las selecciones, al separar los mejores genotipos de los menos favorecidos. Resulta ser un proceso discriminatorio de reproducción diferencial de determinados genotipos. Por consiguiente, la

selección en general descansa sobre dos principios básicos: 1) la selección sólo puede actuar sobre diferencias heredables y 2) la selección no crea variabilidad, sino que actúa solamente sobre la ya existente (Vallejo y Estrada, 2002).

### **Objetivo del mejoramiento**

El objetivo del mejoramiento genético, radica en encontrar variedades que cumplan con las expectativas de calidad que el consumidor prefiera, y que contenga los genes de resistencia a plagas y enfermedades convenientes para el agricultor (Sánchez, 2020). En cuanto al mejoramiento genético de pimiento, además de lo antes mencionado, se busca generar variedades específicas para invernadero y para campo abierto (Pino y Saavedra, 2018), ya que ambos tienen requerimientos diferentes.

### **Métodos de mejoramiento en *Capsicum***

El mejoramiento de los cultivos depende de los recursos y del uso estratégico de la diversidad genética del cultivo y sus parientes silvestres más cercanos (Votava *et al.*, 2002). Tradicionalmente las técnicas de mejoramiento genéticos del chile han consistido en la formación de la “línea pura”, mediante las diferentes variantes de selección (masal, estratificada, pedigree y recurrentes) a partir de cultivares nativos y concluir con la derivación de líneas mediante la selección individual (Ramírez y Méndez, 2018). Entre los métodos tradicionales más usados está la hibridación (cruzamiento de individuos con diferentes genotipos) y la selección, entre ellas la masal, selección por pedigrí y retrocruzamiento. Finalmente, en el método moderno están los marcadores moleculares, que combinan muy bien con el método tradicional (Llatas *et al.*, 2021). Con el mejoramiento genético se busca la uniformidad de las plantas, con esta característica las plantas deberían responder de una manera similar a la aplicación de fertilizantes y a cada una de las prácticas agrícolas (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2018).

### **Selección masal**

La selección masal (S.M.) es un método de mejoramiento más antiguo utilizado en especies autógamas; gracias a este método se desarrolló una gran diversidad de cultivares (variedades nativas), adoptada por los fitomejoradores (Vallejo y Estrada, 2002). Se basa en la selección de un gran número de individuos con características fenotípicas similares, para mezclarlos y constituir de este modo la generación siguiente; repitiendo el proceso tantas veces como sea necesario hasta que la población se torne homogénea (Ramírez y Méndez, 2018).

### **Selección masal estratificada**

Consiste en llevar a cabo la selección individual de plantas dentro de pequeños sublotos (variación menor de la que se tendría en todo el lote) de un lote general. Esto sirve para minimizar la interacción genotipo-ambiente varianza ambiental (suelo u otros factores), permitiendo trabajar más sobre la variación genética (Ramírez y Méndez, 2018).

### **Método genealógico o de pedigrí**

Este método se lleva a cabo a través de la selección y autopolinización de plantas individuales (Karim *et al.*, 2021). En el programa de mejoramiento genético de hortalizas combina caracteres deseables, aplicando distintas estrategias genotécnicas importantes para el incremento del rendimiento del fruto. Se seleccionan plantas superiores a partir de la generación F2 y en generaciones segregantes sucesivas, conservando un registro de las relaciones padres-progenies. Este método comprende dos etapas fundamentales: selección y cruzamiento de progenitores y manejo de materiales híbridos y segregantes; esta segunda etapa es la más demorada, siendo un proceso largo para su desarrollo (Ramírez y Méndez, 2018; González-Pérez *et al.*, 2021).

### **Método por descendencia de una semilla modificado o única**

La selección no se lleva a cabo durante el proceso de mejoramiento, se utilizan líneas consanguíneas recombinantes por semilla única (RIL) en el procedimiento de desarrollo. Este método se utiliza para la formación de materiales o líneas puras para la generación de híbridos (Karim *et al.*, 2021).



### **Método de retrocruza**

Este método es el más utilizado en el programa de mejoramiento de *capsicum* para resistencia a enfermedades. Se transfieren un gen o pocos genes de cultivares primitivos/silvestres a cultivares líderes (Srivastava y Mangal, 2019).

### **Hibridación**

Este es una estrategia para mejorar especies ya existentes en especies superiores. Este modelo se sustenta en el cruzamiento de individuos con diferentes genotipos, logrando obtener las características de los genes deseables en la nueva generación, este método es el más usado para la producción de semilla híbrida (Llatas *et al.*, 2021).

### **Mejoramiento en *Capsicum* en México**

En México el principal implicado en el mejoramiento genético de hortalizas (chiles) ha sido el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ha desarrollado y liberado variedades e híbridos de chile de diferentes tipos raciales para todas las regiones productoras del país. Ejemplo:

La formación de los híbridos de chile serrano coloso y centauro utilizando líneas puras desarrolladas por el método de descendencia de una semilla (Brim, 1966) modificado para chiles por Ramírez *et al.* (2007), obtenido incrementos en el rendimiento de más de 50%, además de la alta calidad de fruto y la mayor precocidad de la producción.

El desarrollo de la variedad chile habanero mediante el método genotécnico de Pedigrí (Brim, 1966; Márquez, 1988), tomando como base de selección las características de planta y fruto, ciclo de producción y tolerancia a factores bióticos y ambiente externo; obteniendo altos rendimientos (hasta 15 t ha<sup>-1</sup> en zonas de temporal, superando 30 t ha<sup>-1</sup> en sistema de irrigación a cielo abierto y hasta 43 t ha<sup>-1</sup> en agricultura protegida) y frutos de calidad. Se liberó como variedad en el 2009 (Ramírez *et al.*, 2018).

### **Mejoramiento en Pimiento morrón**

La producción de pimiento morrón es una alternativa económica muy atractiva durante el ciclo otoño-invierno, (Moreno Pérez *et al.*, 2011) puesto que tiene un alto rendimiento, calidad de fruto y elevados precios durante época invernal. Además, es muy consumido por sus componentes bioactivos (Mennella *et al.*, 2018). Sin embargo, dicha actividad debe llevarse a cabo en invernaderos, por las restricciones ambientales que limitan el cultivo a cielo abierto en esa época del año.

El programa de mejoramiento genético de cultivos involucra: conservación de germoplasma, evaluación de diversidad genética, selección de genotipos/híbridos promisorios, selección de progenitores, hibridación y evaluación de poblaciones segregantes (Kumar *et al.*, 2021). En cuanto al mejoramiento genético en pimiento son pocos trabajos generados y publicados hasta el momento. Entre los que se pueden mencionar están, nuevas combinaciones híbridas evaluadas por Rodríguez *et al.* (2018) bajo sistema de cultivo protegido, encontrando un buen comportamiento y altos rendimientos en las progenies.

En otras investigaciones de mejoramiento como las de Babak (2019) desarrollaron híbridos  $F_1$  de pimiento dulce, estudiando peculiaridades de manifestaciones de caracteres en los híbridos (2016-2018) por el valor de heterosis y grado de dominancia. Con base en los resultados de las pruebas se pudieron identificar híbridos que combinan una alta capacidad de rendimiento, valor biológico de las frutas y alto efecto heterótico. Sin embargo, la producción sigue siendo limitada debido a la falta de desarrollo de variedades, que se adapten específicamente en determinadas circunstancias o regiones agroclimáticas (Karim *et al.*, 2021), por lo que el uso del mejoramiento genético en la especie, en particular del pimiento, resulta ser una buena opción para el desarrollo de un nuevos genotipos para la adaptación a nichos ecológicamente afectados, o en su caso diversificar la producción de cultivos.

### **Importancia de evaluaciones agronómicas y nutricionales del pimiento**

El conocer el comportamiento agronómico de genotipos así como la estimación de heredabilidad junto con el avance genético (acción génica aditiva) es necesario (Sood *et al.*, 2009), para mejorar la reproducción de calidad en pimiento morrón (rendimiento de frutos comercializables y características de calidad), siguiendo un procedimiento de selección. En cualquier programa de mejoramiento se busca que las poblaciones mejoradas lleguen a ser agronómicamente superiores (Lagos *et al.*, 2020) conservando así la diversidad génica. Sin duda la cantidad de variabilidad genética de una especie es esencial para su supervivencia y adaptación en diferentes ambientes (Lee *et al.*, 2012).

En una investigación realizada por Zúñiga-Orozco *et al.* (2021) sustentan que, al hacer evaluaciones de variabilidad morfoagronómicas se puede saber si existe suficiente variabilidad para ser selecciones y obtener fenotipos novedosos y de interés agronómicos. Es importante mencionar que, la caracterización morfológica del cultivo es de gran utilidad para definir los descriptores de importancia agronómica (Martínez, 2022). En *Capsicum* la caracterización morfológica se deben registrar aquellos caracteres altamente heredables principalmente (IPGRI, 1995) que pueden ser fácilmente evaluadas a simple vista y se expresan en todos los ambientes, aprovechando la variabilidad que se pueda encontrar en la morfología de un cultivo (Ramírez, 2021).. En evaluaciones de genotipos de *Capsicum annuum* realizadas por Saisupriya *et al.* (2022) encontraron alta heredabilidad en caracteres, indicando existencia de acción génica aditiva observada en; longitud de fruto, diámetro de fruto, número de frutos por planta y rendimiento de frutos por planta; concluyendo que estos rasgos pueden mejorarse mediante la selección directa.

Para mejorar la semilla se aplican técnicas de estratificación (Cabañas *et al.*, 2006), seleccionando plantas sanas con buen rendimiento de fruto, competencia completa y frutos de calidad. En la actualidad los programas de mejoramiento que se basan principalmente en la productividad, uniformidad, tamaño y color del fruto (Cuarán *et al.*, 2022), de esta manera expanden la posibilidad de selección de materiales que presenten atributos promisorios deseables de estos caracteres

para el mercado consumidor, resultando valido y preciso caracterizar y evaluar genotipos bajo la premisa de su comportamiento agronómico, comercial y nutricional. La combinación de genotipos de alto rendimiento (Cetz, 2005) con prácticas agrícolas, radica en la importancia de favorecer desde el punto de vista social o ambiental la expresión fenotípica de tales genotipos. Un programa de mejoramiento genético puede llegar a mejorar la calidad del fruto con especial énfasis en incrementar la vida de poscosecha para mantener la calidad nutracéutica y nutricional (Pereira de acosta *et al.*, 2021).

### **Variedades**

Una variedad vegetal representa a un grupo de plantas seleccionado dentro de una especie presentando características comunes (UPOV, 2010). Las variedades de *C. annuum*, según el nivel tecnológico empleado están clasificadas en tres categorías: 1) variedades híbridas, 2) variedades de polinización libre y 3) variedades criollas. En teoría los híbridos representan el nivel tecnológico más alto, mientras que los criollos el nivel más bajo (Bobadilla-Larios *et al.*, 2017).

Es importante diferenciar entre variedades botánicas y comerciales, la primera es la clasificada por los investigadores, aquellas utilizadas en programas de mejora para la obtención de variedades superiores (atributos de calidad y producción), en cuanto a las comerciales, son las que se encuentran en el mercado y son demandadas por el agricultor y el consumidor. (Sánchez, 2020)

De acuerdo con SAGARPA (2013) pueden considerarse tres grupos varietales en pimiento:

- 1) Variedades dulces: son las que se cultivan en los invernaderos (frutos grandes para consumo en fresco e industria).
- 2) Variedades de sabor picante: son de fruto largo y delgado (cultivadas en Sudamérica).
- 3) Variedades para la obtención de pimentón: son un subgrupo de las variedades dulces.

Variedades de fruto dulce:

- Tipo california (Blocky): frutos de forma cubica (7-10 cm), anchos (6-9 cm), con tres o cuatro cascotes muy marcados, con el cáliz y base del pedúnculo por debajo o a nivel de los hombros y de mesocarpio gruesa (3-7 mm). Exigentes en temperatura.
- Tipo lamuyo: frutos largos y cuadrados de carne gruesa, más vigorosas (de mayor porte y entrenudos más largos), menos sensibles al frío que el tipo california y de ciclos más tardíos.
- Tipo dulce italiano: frutos alargados, estrechos, acabados en punta, de carne fina, más tolerantes al frío, cultivados en ciclo único.
- 

### **Producción de híbridos**

La hibridación dentro del género *C. annuum* ocurre de manera natural y puede darse por cruzamiento intra-específico e inter-específico, ha sido aprovechada esta característica por los fitomejoradores quienes buscan la obtención de genotipos de alto rendimiento, calidad de fruto y mejores atributos (Mis-Valdez *et al.*, 2022). Los híbridos de plantas se crean cuando el polen de una planta es usado para polinizar una variedad completamente diferente, dando una planta completamente nueva, conocida como primera generación filial F<sub>1</sub> (Normando *et al.*, 2018). La heterosis y el vigor híbrido, términos usados como sinónimo, siendo la heterosis la expresión genética resultado de la combinación de dos parentales y de los efectos benéficos de la hibridación, con un efecto de aumento significativo de la productividad y caracteres agronómicamente mejorados (Vallejo y Estrada, 2002). Mejorando el vigor y produciendo más variabilidad en el crecimiento de los cultivares (Rao y Anilkumar, 2020). Finalmente, en un programa de mejoramiento genético es útil obtener semillas de alta calidad para conservación de germoplasma (Ayala-Villegas *et al.* 2014).

### **Limitantes en la producción de pimiento morrón**

A nivel comercial los genotipos híbridos que se ofertan en el mercado tienen costos de semilla muy elevados, debido a que la producción de semillas híbridas se apoya en la emasculación manual y la polinización dirigida y controlada (Swamy *et al.*, 2017), lo que internamente aumenta el costo de la semilla resultante. Además de ello, uno de los principales problemas que enfrentan los productores es el cambio climático que cada vez es más errático, plagas y enfermedades (Galindo y Cabañas, 2006), así como la deficiente comercialización que puede llegar a ser su cosecha de baja calidad por el uso de semillas de mala calidad genética.

En la actualidad el Chile enfrenta una gran demanda y al mismo tiempo oferta limitada de cultivares nacionales con mayor capacidad de adaptación a los agroecosistemas hortícolas, en agricultura protegida los costos de producción son altos ya que la semilla híbrida proviene de empresas transnacionales a elevados costos (García *et al.*, 2021; Luna *et al.*, 2021). Sin embargo, estos materiales, muchas veces siguen siendo sensibles a plagas y enfermedades incrementando más la inversión en el cultivo. Por lo antes mencionado, Rodríguez Llanes *et al.* (2014) manifiesta que a través del mejoramiento genético se podría lograr ahorrar y permitiría la sustitución de importaciones de semilla, esto al disponer de híbridos y variedades de procedencia nacional o local, con buenos rendimientos y adaptación climática.

En cuanto a la mejora conseguida debe verse reflejado en la semilla de forma rentable y competitiva (Blasco, 2004), además de que la productividad y adaptabilidad deben satisfacer las variables cultivadas. En resumen, el éxito o fracaso de un cultivo puede estar definido por tres aspectos principales: 1) seleccionar la variedad más adecuada para obtener los mejores rendimientos, 2) el manejo organizacional fundamental para el manejo de funciones en el cultivo y 3) manejo agronómico adecuado del cultivo, sin embargo, siempre se buscará un balance en la toma de decisiones para mantener el máximo potencial de cada variedad (INTAGRI, 2013).

### **Calidad y mejora genética del pimiento**

La calidad es muy compleja, ya que contempla muchos factores, entre los que se encuentran el conjunto de características de una variedad que hacen que sus frutos sean demandados por el consumidor (Reche *et al.*, 2010), estando relacionados con el clima, agua y suelo de la zona de cultivo. Es ahí donde las prácticas agronómicas y el método del cultivo pueden aumentar significativamente en la calidad de los frutos y su valor biológico (Nurzyńska-Wierdak *et al.*, 2021), los parámetros de calidad también son influenciados por el estrés y déficit hídrico que puede llegar a presentar el pimiento en planta. La variación existente en caracteres como el peso de fruto y la producción puede hacer posible la realización de selecciones, mismas encaminadas a aumentar la uniformidad y la producción (Cornejo, 2005).

### **Componentes del valor nutricional del fruto del pimiento**

El *Capsicum annuum* es altamente rico en antioxidantes, vitaminas, además de poseer variedades de metabolitos y compuestos denominados polifenoles (Arzube, 2022). Todas estas sustancias bioactivas naturales benéficas (Duranova *et al.*, 2022) se encuentran en sus frutos. Chandra *et al.* (2014) manifiesta que las concentraciones fenólicas y otros metabolitos secundarios en frutos están influenciados por factores como: el suelo, el riego y las condiciones climáticas. Por lo anterior, Nadeem *et al.* (2011) argumenta que es esencial que los estudios compositivos en los alimentos vegetales tengan en cuenta factores que puedan afectar la composición química del fruto.

### **Variables de la calidad de Frutos**

En la actualidad los consumidores demandan pimiento morrón de mejor calidad (Melanio y Ortuño, 2021) y frutos con vida útil prolongada; bajo este mismo contexto se echa mano del concepto de calidad, criterio importante para aceptación del fruto, mediante la apariencia externa, color y brillo (Tong *et al.*, 2021). Los consumidores tienden a sentirse atraídos por la intensidad del color (pigmentos-carotenoides) características que pueden determinar el valor económico del fruto (Romano *et al.*, 2012), incluso estudios han sustentado que

el color es tres veces más importante que el precio de venta en las decisiones de compra de los consumidores (Frank *et al.*, 2001). Años atrás la calidad era un concepto que estaba asociado con las características físicas del fruto (Valenzuela, 2021), hoy en día la calidad es sanitaria, nutricional y producción sostenible, resultando un concepto muy variable e integrador a la vez.

Algunos fitoquímicos contenidos en el fruto pueden verse afectados por variables (etapas de maduración, el genotipo, condiciones de almacenamiento y procesamiento) que afecten las propiedades antioxidantes (Park *et al.*, 2012). Por su parte Kasampalis *et al.* (2022) concluyó que el grado de madurez durante la cosecha afecta principalmente la composición nutricional en pimiento morrón, y que solo en un grado menor por el período de almacenamiento.

### **Color de madurez**

El color del pericarpio del pimiento es un atributo visual del que el consumidor puede echar mano para establecer un criterio de grado de madurez (Harel *et al.*, 2020), factor determinante para establecer la vida de almacenamiento mismo que influye en el valor de mercado y elección del consumidor. El color resulta ser una base para la clasificación a nivel de calidad comercial que podría significar un índice de mejor calidad (Villaseñor-Aguilar *et al.*, 2020).

### **Grosor de la pared del fruto**

El grosor del fruto de pimiento puede verse afectado con diferentes niveles de riego, al igual que el ancho y longitud del fruto (Al-Harbi *et al.*, 2020). Este parámetro de calidad tiene correlación positiva con el peso fresco como con el contenido de materia seca, debido a que el contenido de agua disminuye con el proceso de maduración natural, (Martínez-Ispizua *et al.*, 2022) el grosor del pericarpio es favorecido por el proceso de madurez aumentando el grado de resistencia a patógenos y daños por transporte durante la postcosecha.



### **Firmeza**

La firmeza es la resistencia de la pulpa contra la presión, en relación con la calidad es un indicador importante que puede llegar a afectar la vida útil y el sabor (Liu *et al.*, 2022). Este índice de calidad, está relacionado con el tiempo de conservación de los frutos, a su vez representa el grado de frescura (combinación de tamaño, color, forma, firmeza de la pulpa, turgencia y brillo sin marchitarse), es lo que hace atractivo a un producto hortícola, y mantenerlos por periodos de tiempo prolongados es cada vez más exigido (Althaus y Blanke, 2021).

### **Sólidos solubles totales**

El contenido de sólidos solubles totales (SST) está influenciado por el estado fenológico, los SST incrementan con la maduración de la fruta (Dobón-Suárez *et al.*, 2021), esto como resultado de una mayor degradación de los polisacáridos y acumulación de azúcares. El deterioro de la firmeza está ligado con el grado de frescura que se puede llegar a tener en la poscosecha, los SST (Brix) son un parámetro que también se puede ver influenciado por el tipo de cultivar, su nutrición, conductividad eléctrica y estrés hídrico (Lwin *et al.*, 2022).

### **Capacidad antioxidante**

El pimiento es muy consumido por su rico contenido de compuestos bioactivos como los antioxidantes que son componentes benéficos a la salud (Sánchez *et al.*, 2022). Los antioxidantes limitan o retrasan el deterioro biológico y químico de los alimentos, previniendo la autooxidación de pigmentos, sabores, lípidos y vitaminas (Bensid *et al.*, 2022), entre los mecanismos de función de los antioxidantes se encuentra la inactivación de radicales libres, atenuando los radicales libres (Vizúete *et al.*, 2022).

### **Carotenoides totales**

El pimiento posee propiedades fotoquímicas con actividad antioxidante, como los carotenoides que son antioxidantes liposolubles muy valiosos para la diferenciación celular epitelial humana (Mahmood *et al.*, 2021). Los carotenoides se han utilizado como colorantes naturales (rojos, naranjas y amarillos), siendo más abundantes en el pimiento rojo y naranja (Choi *et al.*, 2022).

### **Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos se pueden encontrar en diferentes partes de los pimientos por lo que son una buena fuente notable de capacidad antioxidante para la industria, cosmética, farmacéutica, y las industrias nutraceuticas (Leng *et al.*, 2022). En estudios se ha encontrado que en invernadero los pimientos maduros generalmente tienen un mayor contenido fenoles totales que los pimientos inmaduros (Cisternas-Jamet *et al.*, 2020).

### **Minerales en el fruto y hoja de pimiento**

Los nutrientes son esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Moreno-Gómez *et al.*, 2021). Se requiere un consumo de elementos minerales (macro y micronutrientes), siendo importante comprender las respuestas de las plantas de cultivo a las deficiencias de los nutrientes, con el fin de seleccionar variedades con una mejor adquisición y uso eficiente de minerales, por lo que dicha selección se verá facilitada por el perfil metabólico (Kim *et al.*, 2018). Los elementos minerales son absorbidos por las raíces, transportados por el xilema a los brotes, siendo asimilados a moléculas orgánicas o involucrados en un gran número de metabolismos (Lee *et al.*, 2020), si existe deficiencia mineral pueden existir alteraciones metabólicas en los órganos de la planta.

### **Comercialización y clasificación de pimiento morrón**

Existen muchos tipos de pimientos según los clasifiquemos; ya sea por su forma, color, sabor, grosor, tamaño, aptitud, etc. En cuanto a comercialización se cultivan pimientos de interés comercial (Del castillo, 2004), donde los verdes y rojos son los más solicitados. Para ser comercializado el pimiento debe cumplir con atributos de calidad, sensoriales, sanitarias y de uniformidad, donde el tamaño es de gran importancia (no < a 64 mm de diámetro y no < a 64 mm de longitud (Ruvalcaba, 2016). Para la comercialización los frutos de pimiento de una variedad no deben mezclarse con otras variedades (Lucero y Sánchez, 2012) en una misma caja, se pueden mezclar colores siempre y cuando se haga el señalamiento correspondiente en la etiqueta o empaque del mismo. La diferencia entre un mercado nacional y de exportación radica en que, el mercado de exportación demanda pimiento homogéneo, frutos (cuadrados) de colores, principalmente rojo, de cuatro puntas, sanos, de excelente presentación y en empaque de exportación (Jiménez *et al.*, 2007), el tipo de chile que se produzca para los diferentes mercados lo dicta el consumidor final.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del experimento

#### Ubicación

El experimento se estableció en un invernadero de mediana tecnología del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo Coahuila, ubicado a 25° 21' 24'' LN y 101° 02' 05'' LO, a 1762 msnm.

#### Material vegetal

Para esta investigación se utilizaron cuatro genotipos de pimiento morrón identificados como P-01, P-02, P-03 y P-04 pertenecientes al germoplasma del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la UAAAN. Las semillas se sembraron el 21 de febrero del 2021 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, el sustrato de germinación fue peat moss y perlita en una proporción 70:30%, respectivamente.

#### Establecimiento en campo y manejo del cultivo

El trasplante se realizó 64 días después de haber sembrado las semillas, a una distancia aproximada de 15 cm entre plantas conducidas a doble tallo en fibra de coco en boli. El suministro de agua y nutrientes fue por riego localizado, con un 10% de drenaje aproximadamente, en el ciclo Primavera-verano del 2021. La solución nutritiva (50% después del trasplante, 75% al inicio de la floración y 100% a la fructificación y llenado) utilizada fue tipo Steiner (1966), modificada para el cultivo de pimiento, tal como se observa en el cuadro 2.

**Cuadro 1.** Solución nutritiva y los porcentajes utilizados en las etapas del cultivo de pimiento morrón bajo condiciones de invernadero.

% SN	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
	Miliequivalentes L <sup>-1</sup>									
100	12	2	7	3.26	1	2	7	4.5	9	3
75	9	1.5	5.25	3.26	1	1.5	5.25	3.4	6.75	3
50	6	1	3.5	3.26	1	1	3.7	2.5	4.5	3

Para la prevención y control de plagas (mosca blanca, trips, paratíroza) se realizaron aplicaciones semanales Spirotetramat al 15.3%, Spiromesifen al 23.1%, Imidacloprid 17% + betacyflutrin 12% a razón de 1 ml L<sup>-1</sup> y metomilo 90%, a razón de 1 g L<sup>-1</sup>, realizando una rotación de los ingredientes activos.

### **Evaluación de variables agronómicas del cultivo**

El diámetro de tallo (DT) fue medido en mm a tres centímetros de la base del sustrato, con un vernier digital marca STEREN® (HER-411), y la altura de planta (AP) mediante el uso de un flexómetro PRETUL® (PRO-5MEB) graduado en centímetros, el inicio de estas dos variables fue dos semanas después del trasplante, así cada quince días. En cuanto al ancho (AH) y largo de la hoja (LH) fueron medidas con una regla(cm), midiendo hojas completamente desarrolladas de la parte media de la planta; esta evaluación fue a los tres meses después del trasplante, siendo evaluación única. Mientras que la medición de la distancia entre nudos (D/N) fue medido con un flexómetro PRETUL® cinco meses después del trasplante y se cuantificó en centímetros.

### **Cuantificación del rendimiento y sus componentes**

La primera cosecha se realizó el 11 de agosto, la segunda, tercera y cuarta el 7, 17 y 24 de septiembre, mientras que la quinta, sexta y séptima cosecha fueron el 1, 9 y 19 de octubre respectivamente, del 2021. El peso total de frutos se estimó pesando todos los frutos de cada planta de la cosecha realizada en una báscula digital GABATEC (GB-40), el rendimiento por planta (GPP) (g) se obtuvo sumando el peso de todas las cosechas realizadas, así mismo, se contabilizó el número de frutos por planta (NFP), en cuanto al peso promedio de fruto (PPF) este se calculó dividiendo el peso total de frutos entre número total de frutos (g). Para el ancho y longitud de fruto (AncF y LonF) fue estimado tomando al azar cuatro frutos por cada unidad experimental de las dos primeras cosechas, donde se utilizó un vernier digital STEREN® graduado en milímetros.

## **Evaluaciones fisicoquímicas del fruto**

### **Grosor del mesocarpio**

Para medir el grosor de la pared del fruto, se utilizó la siguiente metodología, al fruto se le realizó un corte trasversal en la parte central del fruto y con un Vernier digital STEREN® se realizó la medición. Los resultados fueron expresados en mm.

### **Firmeza**

Para determinar la firmeza se colocó al fruto en forma horizontal y con presión utilizando un penetrómetro NEWTRY con cabezal de medición (GY 03) y una puntilla de 8 mm se perforó el pericarpio, el dato de la firmeza se expresó en Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Sólidos solubles totales**

Para analizar las características internas del fruto, se cortó un pequeño trozo del fruto el cual fue exprimido manualmente hasta obtener el jugo y colocarlo unas gotas en el refractómetro SOONDA® (TD6010). Los resultados fueron expresados en Brix.

### **Prueba de color de fruto**

El color de los frutos fue evaluado tomando los parámetros cromáticos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), con un colorímetro Konica Minolta Sensing® (CR-400, Japón) de acuerdo con la metodología de García-López et al. (2019), los parámetros de color se evaluaron utilizando las coordenadas CIELCH ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$ ), establecidas por la Commission Internationale De L'eclairage (CIE, 2004).  $L^*$  define la luminosidad (0 negro, 100 blanco),  $C^*$  (cromo;  $h^*$  nivel de saturación) y  $h^*$  (ángulo de matiz: 0° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde, 270° = azul). La visualización del color se obtuvo mediante el software en línea ColorHexa (2022) utilizando los valores  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$ .

### **Determinaciones bioquímicas**

Se tomaron cuatro frutos al azar por cada repetición de genotipo, los pimientos corresponden a la primera cosecha, posteriormente los frutos fueron picados y pesados, haciendo una muestra de 10 g de pimiento pesados en una balanza de precisión (Precisa, BJ 610C), cada muestra se colocó en bolsas de polietileno resellable, esto fue para cada una de las determinaciones correspondientes.

Los extractos para determinar fenoles se realizaron tomando 10 g de cada una de las muestras de pimiento y se añadió 50 mL de una solución de metanol al 80%. La mezcla se procesó por un minuto en una licuadora *Osterizer*<sup>®</sup> (6640-R22), posteriormente la mezcla se pasó a tubos Falcon<sup>®</sup> de 50 mL, de los cuales se tomaron 15 mL que fueron colocados en tubos de centrifuga cónicos. La muestra fue centrifugada a 5000 *rpm* durante 5 min en una centrifuga Labnet<sup>®</sup> (HERMLE z200A). Finalmente se recuperó con una pipeta Pasteur de 3 mL el sobrenadante en frascos ámbar de 10 mL.

### **Fenoles totales**

Par determinar contenido de fenoles se siguió el método descrito por García-López et al. (2019). Se preparó una solución de metanol al 80% en donde se disolvió 0.0050 g de ácido gálico ( $C_7H_6O_5$ ) en un matraz de aforación de 25 mL, cubriéndolo con papel aluminio para conservarlo en el refrigerador por un tiempo. En un vaso de precipitado se diluyo 3.5 g de carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) al 7% en 50 mL de agua destilada. En tubos de ensayo se agregaron 0.2 mL de cada extracto, mezclándose con 2.6 mL de agua destilada y 0.2 mL de reactivo Folin-Ciocalteu; finalmente se añadir 2 mL de  $Na_2CO_3$  al 7% y la solución se agito durante 30 s. La reacción tuvo lugar en la oscuridad durante 90 min, posteriormente se midió la absorbancia de las muestras a 750 nm en un espectrofotómetro (UV-Visible Thermo Spectronic BioMate 3, Rochester, NY, USA). La concentración de fenoles se reportó en miligramos equivalentes de ácido gálico por kilogramo de la muestra ( $mgGAE\ kg^{-1}$ ), calculados a partir de la curva de calibración del ácido gálico de 0  $mg\ L^{-1}$  a 200  $mg\ L^{-1}$ .

### **Capacidad antioxidante**

Para determinar la capacidad antioxidante se utilizaron los mismos extractos utilizados para determinar fenoles, siguiendo el método utilizado por García-López et al. (2019).

#### **Método DPPH**

La capacidad antioxidante del DPPH (2,2-difenil-1-picriolhidracil) se evaluó mediante una solución de trabajo de 0.0024 g de reactivo de DPPH en metanol al 80 %, con una absorbancia ajustada a 0.997 a 517 nm. El ensayo se realizó mezclando 0.05 mL del extracto con 1.5 mL de la solución de trabajo de DPPH, en microtubos graduados colocados en una caja criogénica de polipropileno, la reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad y se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro (UV-Visible Thermo Spectronic BioMate 3).

#### **Método ABTS**

La capacidad antioxidante del ABTS (2,20azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazonil-6-sulfónico)) se determinó mediante una solución de trabajo obtenida mezclando 0.0040 g de ABTS diluido en 1 mL de agua destilada y 0.0070 g de sulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) diluido en 10 mL de agua destilada; permitiéndoles reaccionar durante 12 h en la oscuridad. La absorbancia de la solución de trabajo se ajustó a 0.996 a 734 nm diluyendo con metanol al 80%. El ensayo ABTS se realizó mezclando 0.05 mL del extracto con 1.5 mL de solución de trabajo ABTS. La reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad, y la absorbancia fue medida en un espectrofotómetro UV-Visible Thermo Spectronic BioMate 3.

#### **Método FRAP**

La capacidad antioxidante del FRAP (poder antioxidante reductor férrico) se determinó mediante una solución de trabajo preparada mezclando 300 mM acetato de sodio trihidratado  $C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$  (pH 3.6), 10 mM TPTZ (2, 4, 6-tripiridil-s-triazina, en 40 mM HCl), y 20 mM cloruro de hierro exahidratado



$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en una relación 10:1:1. El ensayo FRAP se preparó mezclando 0.05 mL del extracto con 1.5 mL de solución de trabajo FRAP; la reacción se dejó durante 30 min en la oscuridad a 37 °C, y la absorbancia de las muestras se tomó a 593 nm en un espectrofotómetro UV-Visible Thermo Spectronic BioMate 3. Los ensayos de DPPH, ABTS y FRAP se informará en micromoles de Trolox equivalente (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico) por kilogramo de la muestra ( $\mu\text{molTE kg}^{-1}$ ), según la curva de calibración con Trolox en concentraciones de 0 a 500  $\text{mmol L}^{-1}$ .

### **Carotenoides**

Los extractos para determinar carotenoides se hicieron tomando 10 g de cada una de las muestras de pimiento añadiendo 60 mL de una solución de hexano acetona a un volumen (200:400). La mezcla se procesó por un minuto en una licuadora Osterizer® (6640-R22), posteriormente el extracto se colocó en vasos de precipitado, protegiéndolos de la luz hasta recuperar el sobrenadante que finalmente se depositó en frascos ámbar de 10 mL.

Para determinar los carotenoides se utilizó el método de González-Saucedo et al. (2019) con ligeras modificaciones. Se utilizó un solvente de extracción a un volumen (10:20) a base de hexano y acetona. Utilizando una caja criogénica de polipropileno donde se colocaron tubos micrograduados de 1mL, con micropipetas de volumen variado se agregó 0.1 mL de extracto de carotenoide y 0.9 mL de solvente de extracción, dejando reposar por un tiempo hasta medir su absorbancia a 475 nm en un espectrofotómetro UV-Visible Thermo Spectronic BioMate 3. Los resultados fueron reportados como  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno  $\text{g}^{-1}$  de peso fresco, utilizando el coeficiente de extinción molar de  $\beta$ -caroteno de  $2505\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

## **Contenido de minerales**

### **Material vegetal para minerales en fruto y hoja**

El material vegetal para determinar minerales en fruto fueron cuatro frutos cosechados al azar por cada repetición de genotipo. Mientras que para el material vegetal para determinar minerales en hoja corresponden a 100 g de hojas tomadas al azar a una altura de 15 cm antes del ápice de cada planta.

Las muestras de fruto se picaron y colocaron en bolsas de papel, mientras que las hojas se colocaron directamente en las bolsas de papel. Ambos materiales vegetales fueron puestos a secar en un horno de secado Lab-Line *IMPERIAL V* (3486M) por tres días a 60°C. Al término del secado se colocaron en un desecador HPLC QUÍMICA® (180), para posteriormente macerar las muestras en un mortero de porcelana. Al obtener un polvo fino se pesaron 4 g en el caso de fruto y 3 g para hoja, en una balanza analítica OHAUS Explore® (PA64, E.U.A), conformando finalmente dos muestras por cada genotipo y colocándolas en bolsas de polietileno resellable.

### **Determinación de minerales**

El contenido de minerales se determinó mediante el método de Garza-Alonso et al. (2020). Las muestras de frutos y hojas se secaron en un horno Yamato DX 602C (Yamato Scientific Co, Japón) a 60 °C durante 72 h. El material resultante fue triturado y sometido a digestión ácida en una mezcla de ácido perclórico y ácido nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). El N se cuantificó por el método micro Kjendahl según la metodología de Bremner (1965). Las concentraciones de frutos y hojas de P, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Zn y Cu se realizaron utilizando el extracto de digestión ácida mediante un espectrómetro de emisión atómica de inducción de plasma acoplado (ICP-AES Agilent 725-ES, Agilent Tecnologías, EE.UU.).

### **Clasificación comercial**

Cada fruto cosechado se registró su peso en una báscula digital GABATEC (GB-40), expresado en gramos. Posteriormente los frutos se clasificaron por tamaño y peso comercial, obteniendo las siguientes categorías: Merma: (<140 g), S: (140-179 g), L: (180-239 g), XL: (240-279 g) y XXL: (>280 g).

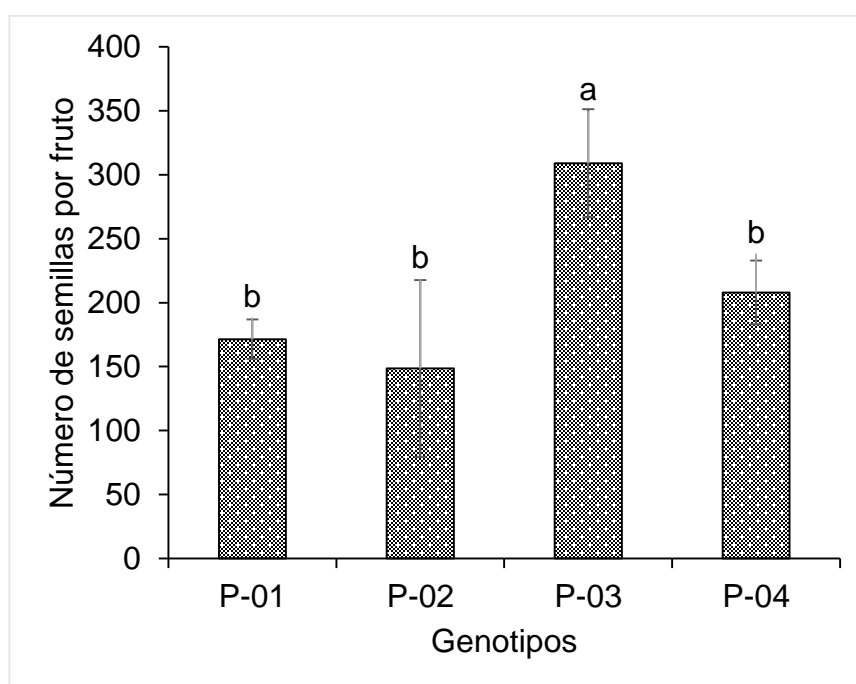
### **Diseño experimental y análisis estadístico**

El experimento se estableció mediante un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones cada uno, por lo que cada repetición estuvo constituida por seis plantas, una en cada extremo como orilla y cuatro plantas útiles medibles. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza ( $ANVA \leq 0.05$ ), y para la detección de diferencias estadísticas entre genotipos se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el paquete estadístico InfoStat/L (InfoStat versión 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Desempeño agronómico

En cuanto a las evaluaciones agronómicas del cultivo, la variable número de semillas por fruto, resultó altamente significativa (Figura 3), en donde el genotipo P-03 destacó con un valor de 309, superando al resto de los genotipos con un 50 %.



**Figura 3.** Comparación de medias y desviación estándar entre cuatro genotipos de pimiento morrón en número de semillas.

En las variables morfológicas, no se presentaron existió diferencias estadísticas significativas entre genotipos; no obstante, el genotipo P-02 superó en 10 y 21 % en diámetro de tallo y ancho de hoja al resto de los genotipos, mientras que el genotipo P-03 en las variables altura de planta y distancia entre nudos superó al resto de los genotipos en 5 % (Cuadro 2).

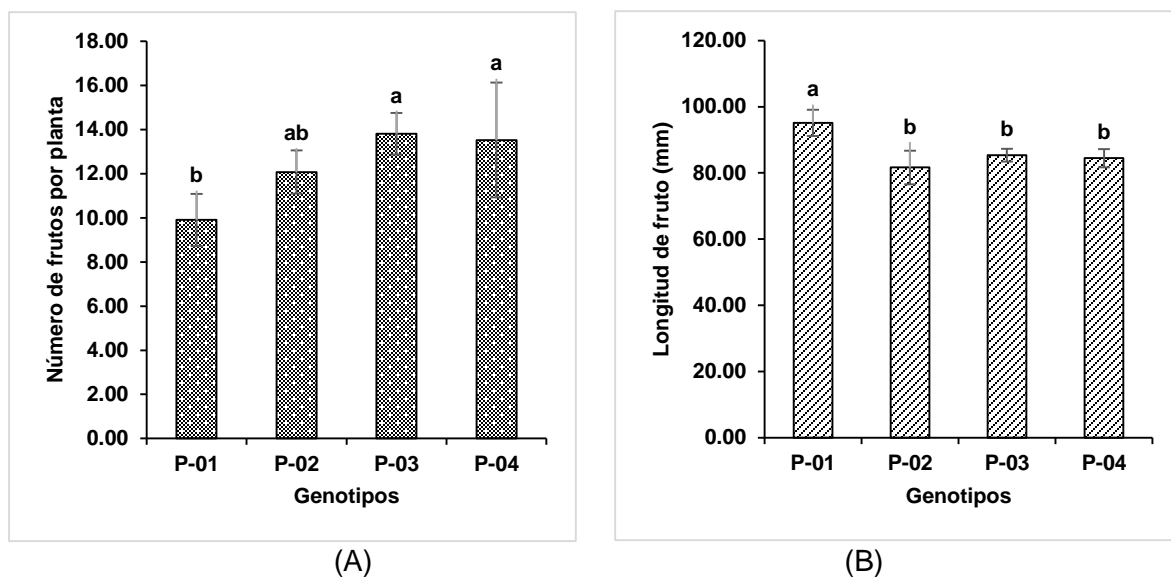
**Cuadro 2.** ANVA y prueba de medias de indicadores de desempeño agronómico de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluadas bajo invernadero.

<b>Genotipos</b>	<b>DT (mm)</b>	<b>AP (cm)</b>	<b>LH (cm)</b>	<b>AH (cm)</b>	<b>D/N (cm)</b>
<b>P-01</b>	11.18 a*	89.64 a	18.12 a	10.53 a	38.84 a
<b>P-02</b>	12.39 a	93.69 a	18.43 a	11.37 a	42.10 a
<b>P-03</b>	11.58 a	98.05 a	17.86 a	9.39 a	44.56 a
<b>P-04</b>	11.29 a	91.64 a	18.98 a	11.23 a	33.08 a
<b>Significancia</b>	NS	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	7.52	10.05	9.84	10.94	33.11
<b>DMS</b>	1.83	19.67	3.78	2.44	27.55

NS= no significativo, \*=medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey= ( $p \leq 0.05$ ) CV= coeficiente de variación, DMS= diferencia mínima significativa, DT= diámetro de tallo, AP= altura de planta, LH= longitud de hoja, AH=ancho de hoja, D/N= distancia entre nudos.

### **Componentes de rendimiento.**

En cuanto al rendimiento se identificaron diferencias estadísticas significativas en número de frutos por planta y longitud de fruto, en la primera destacaron P-03, P-04 y P-02 con 13.81, 13.53 y 12.08 frutos cosechados por planta respectivamente, mientras que en la segunda el genotipo P-01 superó en más de 16.5% al resto de los genotipos (Figura 4).



**Figura 4.** Comparación de medias y desviación estándar de número de frutos por planta (A) y longitud de fruto (B) de cuatro genotipos de pimienta Morrón evaluados bajo invernadero.

Aunque no existió diferencia estadística significativa en la variable de rendimiento en gramos cosechados por planta (GPP), se observó un incremento porcentual de 20% del genotipo P-03 y P-02 respecto del genotipo P-01, el resto de las variables evaluadas (peso promedio de fruto y ancho de fruto,) también mostraron un comportamiento estadístico similar, que indica similitud en el comportamiento de los genotipos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** ANVA y prueba de medias de rendimiento y componentes de rendimiento en cuatro genotipos de pimiento morrón evaluadas bajo invernadero.

<b>Genotipos</b>	<b>GPP (g)</b>	<b>PPF (g)</b>	<b>AncF (mm)</b>
<b>P-01</b>	1818.58 a*	193.42 a	83.13 a
<b>P-02</b>	2204.88 a	184.68 a	86.17 a
<b>P-03</b>	2232.92 a	167.38 a	85.03 a
<b>P-04</b>	1988.50 a	148.76 a	81.20 a
<b>Significancia</b>	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	16.02	14.24	4.27
<b>DMS</b>	693.25	51.88	7.51

NS= no significativo, CV= coeficiente de variación, DMS= diferencia mínima significativa, \*=medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey= ( $p \leq 0.05$ ) GPP= gramos por planta, PPF= peso promedio de fruto y AncF= ancho de fruto.

### **Evaluaciones fisicoquímicas y calidad nutracéutica**

Para las evaluaciones fisicoquímicas no existieron diferencias significativas en la respuesta de los genotipos, sin embargo, existió un incremento del 10% en firmeza y grosor de mesocarpio en los genotipos P-03 y P-04 en comparación con P-02 y P-01 (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** ANVA y prueba de medias de sólidos solubles totales, firmeza de fruto y grosor de mesocarpio de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluadas bajo invernadero.

<b>Genotipos</b>	<b>Sólidos solubles totales (Brix)</b>	<b>Firmeza de fruto (Kg cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Grosor de mesocarpio (mm)</b>
<b>P-01</b>	6.62 a*	3.97 a	7.00 a
<b>P-02</b>	6.55 a	3.57 a	6.63 a
<b>P-03</b>	6.41 a	4.05 a	7.36 a
<b>P-04</b>	6.42 a	4.09 a	7.33 a
<b>Significancia</b>	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	7.02	6.44	7.25
<b>DMS</b>	0.95	0.53	1.07





NS= no significativo, \*=medias con misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey = ( $p \leq 0.05$ ), CV=coeficiente de variación, DMS=diferencia mínima significativa.

### **Prueba de color**

En cuanto a la determinación de color de fruto, se observaron diferencias significativas en luminosidad ( $L^*$ ), indicando que las muestras analizadas revelaron una tendencia al blanco que al negro. El parámetro  $L^*$  fue menor en P-01 con 30.47, mientras que el valor más alto se presentó en P-02 con 32.02, seguido de P-04 y P-03, al igual que el valor de  $C^*$  más alto con 15.45, lo que indicó una mayor saturación de color, en tanto que, el valor de  $C^*$  más bajo de 13.08 en el genotipo P-01. El color de los frutos resultó ser rojo amarillo, de acuerdo con la clasificación de colores (Cuadro 5).



**Cuadro 5.** Parámetros cromáticos de frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo invernadero

Parámetros de color				
Genotipos	$L^*$	$C^*$	$h^*$	Vista de color
<b>P-01</b>	30.47 ± 0.58 b&	13.08 ± 3.27 a	24.26 ± 6.17 a	
<b>P-02</b>	32.02 ± 1.16 a	15.45 ± 2.35 a	27.05 ± 4.31 a	
<b>P-03</b>	31.47 ± 0.27 ab	13.74 ± 1.87 a	28.86 ± 6.68 a	
<b>P-04</b>	31.57 ± 0.40 ab	14.02 ± 1.78 a	25.98 ± 4.17 a	

$L^*$ : luminosidad;  $C^*$ : saturación del color;  $h$ : ángulo de tono. Los valores son el promedio de cuatro repeticiones. Medias (n=4) ± desviación estándar. &= Letras diferentes dentro de cada columna significan que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### Determinaciones bioquímicas

En cuanto a las evaluaciones de la calidad nutracéutica del fruto, tampoco se observaron diferencias estadísticas significativas, no obstante, en el contenido de fenoles el genotipo P-04 tuvo un 20% más que el resto de los genotipos, en tanto que el P-03 obtuvo un 36 % más de carotenoides, mientras que la capacidad antioxidante con el método DDPH el genotipo P-02 sobresalió en un 15% que el resto de los genotipos (Cuadro 6).

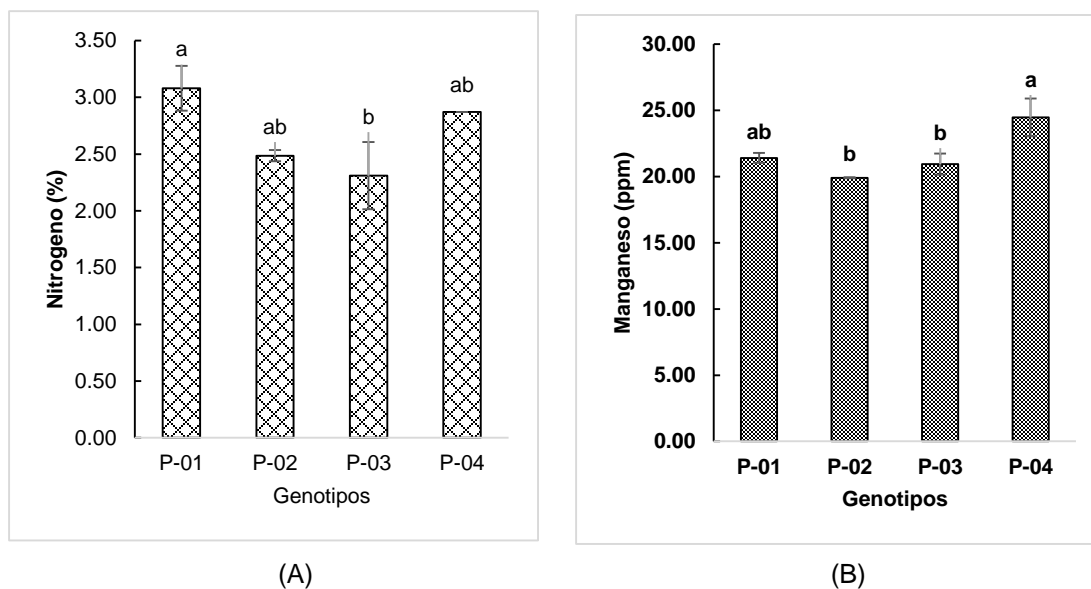
**Cuadro 6.** ANVA y prueba de medias de fenoles, carotenoides y capacidad antioxidante (ABTS, DDPH y FRAP) de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero.

Genotipos	Fenoles (mgGAE kg <sup>-1</sup> )	Carotenoides (mg/100 g)	Capacidad Antioxidante ( $\mu$ molTE/kg <sup>-1</sup> )		
			ABTS	DDPH	FRAP
<b>P-01</b>	507.04 a*	20.22 a	2377.47 a	2167.57 a	6736.20 a
<b>P-02</b>	498.50 a	22.54 a	2224.65 a	2679.45 a	6075.47 a
<b>P-03</b>	496.42 a	30.79 a	2354.05 a	2121.77 a	5852.90 a
<b>P-04</b>	607.64 a	22.50 a	2340.84 a	2336.61 a	6657.51 a
<b>Significancia</b>	NS	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	21.15	28.79	11.73	28.88	10.04
<b>DMS</b>	234.12626	14.51410	572.44414	1410.64258	1333.71216

NS= no significativo, \*=medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey = ( $p \leq 0.05$ ), CV= coeficiente de variación, DMS= diferencia mínima significativa, fenoles, carotenoides y capacidad antioxidante (ABTS, DDPH y FRAP).

### Contenido de minerales en fruto y hoja de pimiento morrón

En cuanto a contenido de minerales en el fruto de pimiento se encontró diferencia estadística significativa en el mineral N y Mn, donde el genotipo P-01 y P-4 destacaron con un 33 y 24 % de N respectivamente sobre el genotipo P-03. Mientras que en contenido de Mn el genotipo P-04 obtuvo un 20% más al resto de los genotipos (Figura 5).



**Figura 5.** Comparación de medias y desviación estándar de contenido de nitrógeno (A) y manganeso (B) en frutos de cuatro genotipos de pimienta morrón evaluados bajo invernadero.

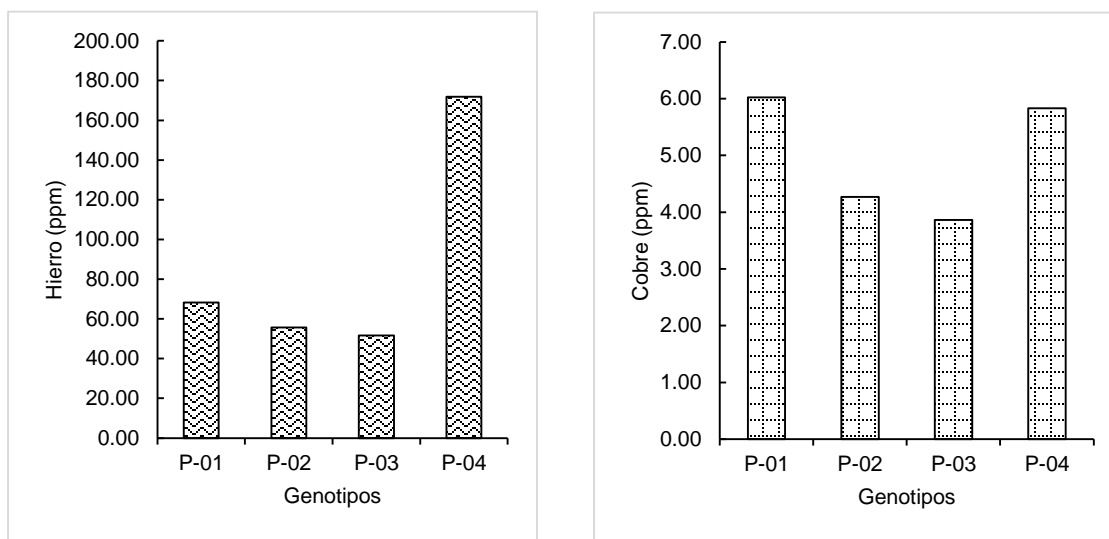
Para el resto de los minerales determinados en fruto, no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 7). Cabe destacar que el N y K son los dos minerales que se encuentran en mayor concentración en los frutos. El genotipo P-04 y P-01 resultaron con mayor concentración de K, P, Mg y Ca, con 21, 8, 7 y 7 % más de estos minerales adquiridos por el fruto durante su fructificación en planta, una tendencia similar se observó en los microelementos.

**Cuadro 7.** Contenido de minerales en frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón probados bajo invernadero.

Genotipos	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	B (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
P-01	3239.61 a	21340.00 a	1536.51 a	1858.08 a	22.86 a	6.02 a	68.30 a	19.84 a
P-02	3092.36 a	21182.25 a	1445.27 a	1758.48 a	22.43 a	4.27 a	55.73 a	15.68 a
P-03	3205.48 a	18566.95 a	1454.68 a	1766.22 a	23.62 a	3.86 a	51.58 a	16.97 a
P-04	3341.10 a	22597.85 a	1546.41a	1890.22 a	22.26 a	5.83 a	171.88 a	17.82 a
<b>Significancia</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	2.56	6.26	4.64	2.65	9.48	13.85	88.05	8.34
<b>DMS</b>	335.18	5334.85	282.63	196.22	8.79	2.81	311.39	5.96

NS= no significativo, \*= medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey = ( $p \leq 0.05$ ), CV= coeficiente de variación, DMS= diferencia mínima significativa, P= fósforo, K= potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, B=boro, Cu= cobre, Fe= hierro y Zn= zinc.

Otros minerales interesantes en su forma de absorción en fruto fueron Fe y Cu; puesto que los frutos del genotipo P-04 tuvieron un 233% más de contenido de Fe sobre el resto de los genotipos, mientras que los genotipos P-01 y P-04 absorbieron 55 y 50 % de Cu (Figura 6).



(A)

(B)

**Figura 6.** Concentración del mineral hierro (A) y cobre (B) en frutos de cuatro genotipos de pimienta morrón evaluados bajo invernadero.

Para el contenido de minerales en hoja del cultivo de pimienta, no se encontró diferencia estadística significativa (Cuadro 8). Hay que mencionar, además que, los minerales N y K fueron los que se encontraron en mayor concentración en las hojas del cultivo, destacando el genotipo P-03 y P-04 con un 58 y 20 % más que el resto de los genotipos. El genotipo P-04 tuvo una mayor concentración de los minerales Ca y Mg con 69 y 24 % respectivamente, superior al resto de los genotipos. Aunque no existió diferencias estadísticas de absorción y concentración de los minerales en la hoja del cultivo, se observó una tendencia en el comportamiento de los genotipos donde resaltan el P-03 con contenido de nitrógeno y P-04 en el resto de macroelementos.

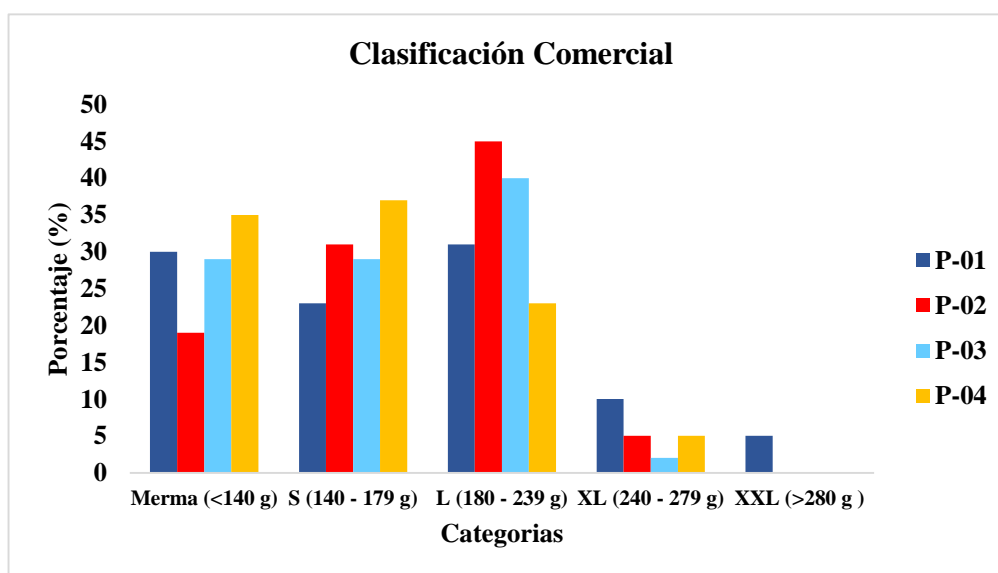
**Cuadro 8.** Contenido de minerales en follaje de cuatro genotipos de pimiento morrón probados bajo invernadero.

<b>Genotipos</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>
	<b>(%)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>	<b>(ppm)</b>
<b>P-01</b>	4.80 a*	2960.92 a	31257.45 a	20336.60 a	9608.37 a	103.35 a	5.94 a	218.43 a	60.58 a
<b>P-02</b>	4.83 a	2776.72 a	35734.75 a	22337.00 a	10102.15 a	77.33 a	5.95 a	251.33 a	83.87 a
<b>P-03</b>	7.56 a	2486.16 a	30579.60 a	16213.75 a	9135.13 a	59.08 a	5.32 a	213.92 a	59.23 a
<b>P-04</b>	4.80 a	2519.65 a	36736.80 a	27420.40 a	11385.20 a	87.02 a	4.37 a	190.55 a	62.89 a
<b>Significancia</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	25.53	16.56	21.38	23.47	15.74	26.4	18.02	11.84	23.62
<b>DMS</b>	7.70604	2420.4809	38219.7245	26263.5344	8382.6744	115.261	5.3859	142.1452	85.61966

NS= no significativo, \*= medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales Tukey = ( $p \leq 0.05$ ), CV= coeficiente de variación, DMS= diferencia mínima significativa, N= nitrógeno, P=fosforo, K=potasio, Ca= calcio, Mg=magnesio, B=boro, Cu= cobre, Fe= hierro, y Zn= zinc.

### Clasificación comercial de pimiento

Con respecto a la clasificación realizada de los frutos cosechados se observó que, el genotipo P-04 obtuvo el mayor porcentaje de frutos en la categoría de merma, seguido del genotipo P-01 con un 35 y 30 %, respectivamente. Para la categoría S el mayor porcentaje de frutos lo obtuvo el P-04 seguido del P-02, con un 37 y 31 %. En cuanto a la categoría L el genotipo P-02 tuvo un 45 %, seguido del P-03 con un 40 % de frutos. En la categoría XL el P-01 obtuvo el 10% de frutos en esta categoría. Finalmente, solo el genotipo P-01 tuvo frutos en categoría XXL, este comportamiento se atribuye a la genética de los genotipos y a que se encuentran la generación filiar tres (Figura 7).



**Figura 7.** Clasificación comercial por tamaño y peso de cuatro genotipos de pimiento morrón evaluados bajo invernadero. P-01=genotipo 1, P-02=genotipo 2, P-03=genotipo 3 y P-04=genotipo 4.

### **Desempeño agronómico**

Para poder tener una producción en cantidad y calidad, es necesaria una nutrición vegetal adecuada, lo que se traduce en un óptimo desempeño agronómico de los cultivos (Duarte *et al.*, 2012). El resultado estadístico significativo observado en algunos caracteres del desempeño agronómico, puede ser atribuido a que el número de semillas y el tamaño de frutos depende de la polinización. Misma que, es dependiente de la exigencia de temperaturas y humedad relativa del ambiente, así como de la fase vegetativa en que se encuentre (Reche, 2010; Camacho, 2020). Las temperaturas y su acumulación en grados días de desarrollo, condicionan los procesos de floración y fructificación, que inducen la formación de semillas y estas a su vez determinan la forma y el tamaño de los frutos (Álvarez, 2018). Además, para un óptimo crecimiento y desarrollo de frutos se debe contar con adecuada radiación solar (Tiwari *et al.*, 2022), de tal modo que, la superficie foliar produzca suficientes asimilados fotosintéticos que contribuyen en su crecimiento. Dado que las temperaturas inducen la diferenciación floral y la formación de grandes cantidades de flores, lo que generalmente ocurre con temperaturas optimas diurnas que van desde 24 a 26°C y nocturnas de 18 a 20°C, con temperaturas menores a 18°C la viabilidad del polen disminuye, produciendo frutos de menor tamaño y con pocas semillas (Camacho, 2020).

El desempeño agronómico de un cultivo depende de la variedad que se siembre, no obstante, también depende de las condiciones ambientales durante su crecimiento y desarrollo, del manejo del cultivo, así como de la disponibilidad de nutrientes y humedad del medio de cultivo (Fornaris, 2005). A lo anterior se suma un adecuado suministro de agua, con la finalidad de alcanzar las metas de rendimiento, claro sin dejar de lado el equilibrio iónico de los nutrientes que lo acompañan (Munzón *et al.*, 2022). El número medio de semillas por fruto obtenido en el presente trabajo fue similar a los encontrados en híbridos de pimiento, con 174 semillas por fruto (Painii, 2017), pero superior de las 60 semillas por fruto



reportadas por la FAO (2011). Es importante señalar que, las semillas obtenidas fueron de poblaciones segregantes en F3, mostrando resultados similares a híbridos comerciales de pimiento. En cuanto al crecimiento de planta de pimiento Hernández-Montiel et al. (2020) obtuvo una altura promedio de 92.38 cm, mientras que para el diámetro de tallo reportó 10.04 cm, valores inferiores comparados con los datos del presente trabajo de investigación.

### **Componentes de rendimiento**

La mejora del desempeño de cualquier cultivo se basa en gran medida de la existencia de la variabilidad genética existente, y de la magnitud de la variabilidad genética beneficiosa disponible (Jyothi, *et al.*, 2011). La respuesta agronómica de los genotipos en longitud de fruto, fueron similares a los 80.5 a 93.5 mm obtenidos por Mata y Ramos (2012), no obstante, en cuanto a número de frutos por planta determinaron resultados inferiores en comparación de los frutos obtenidos en esta investigación. De igual importancia, en otro estudio se reportaron longitudes de hasta 95 mm (Elizondo y Monge, 2017). Sin embargo, Castillejo et al. (2022) obtuvieron frutos con ancho y longitud de 87.2 y 87.6 mm respectivamente y un peso promedio superior a 204.7 g. Teniendo en cuenta estos datos, es importante mencionar que, el largo del fruto es la característica que más influye en el rendimiento (Martín y González, 1991). Lo que coincide con los genotipos estudiados P-02 y P-03 (Cuadro 3), que obtuvieron un rendimiento porcentual mayor, mientras que, la longitud de fruto de P-02 fue ligeramente inferior, y P-03 tuvo un tamaño intermedio. En cambio, en el ancho del fruto estos dos genotipos (P-02 y P-03) fueron los que mostraron un resultado favorable (Cuadro 3). Es importante destacar que para que la selección de genotipos sea más efectiva, es importante tomar en cuenta el ancho de fruto, ya que Achal et al. (1986) y Smitha y Basavraja, (2006) argumentan que, los caracteres: altura de planta, longitud de fruto, ancho de fruto y número de frutos por planta, resultan ser de alta capacidad heredable, por lo que la selección de materiales se debe hacer en base a estos caracteres.

### **Evaluaciones fisicoquímicas**

La combinación perfecta que se ajusta entre los estados fenológicos del pimiento (floración, producción de fruta y etapas de maduración) está en base a un patrón de riego eficiente, radiación y nutrientes, mismo que influye en la fisiología, calidad de fruta, el contenido total de sólidos solubles y la dureza, con un mayor rendimiento (Chen *et al.*, 2009; Kabir *et al.*, 2021). Los pimientos tienen una amplia variabilidad sensorial y nutricional, entre las características sensoriales que destacan son el grosor de la pared y los sólidos solubles totales (Rodríguez y Nuez, 2006). En esta investigación no existió significancia en las evaluaciones fisicoquímicas (Cuadro 4 y 6), no obstante los genotipos P-03 y P-04 destacan porcentualmente en firmeza y grosor de mesocarpio, mismos que son considerados en los diferentes atributos de calidad (firmeza, grosor de pared y contenido de sólidos solubles), por los múltiples usos, además, estos caracteres determinan su importancia comercial que se correlaciona directamente con su frescura, textura y atributos de calidad como aspectos importantes para los consumidores (Sethu, *et al.*, 1996).

La firmeza del fruto es otro parámetro de calidad relacionada con el tiempo de conservación y vida de anaquel, por esta razón los valores elevados son deseables para productos que recorren grandes distancias para llegar a los consumidores. Los valores de firmeza en frutos de esta investigación son inferiores a los 5.3 y 5.4 kgf reportados por Urrestarazu *et al.* (2002) en híbridos de pimiento, pero superiores 0.35 a 0.39 kgf reportados por Guerra *et al.* (2011) y 2.17 kg cm<sup>-2</sup> indicados por Uresti-Porras *et al.* (2021).

En cuanto a contenido de sólidos solubles totales se han reportado valores de entre 6.1 a 6.4 Brix (Urrestarazu *et al.*, 2002), promedios de 5.11 Brix, coincidiendo con los genotipos P-03 y P-04 de esta investigación, pero inferiores a los 8.5 a 9.1 Brix (Guerra *et al.*, 2011). El grosor de la pared de sus frutos fueron inferiores con 5.31 a 6.03 mm, e informaron que la firmeza del fruto está asociada a las condiciones generales del cultivo, lo que mejora su calidad por el aumento del tamaño y peso de los frutos (Urrestarazu *et al.*, 2002). Además, existe una

relación directa entre los carbohidratos contenidos en el jugo del fruto con el contenido de minerales disueltos (Roa *et al.*, 2011).

Con referencia al color y sus características cromáticas este es un aspecto cualitativo de las frutas; el pimiento es un producto muy consumido especialmente por su aspecto colorido y llamativo, sabor dulce y atractivo saludable. El color del fruto y su brillantez resulta ser un carácter de calidad, al igual que su forma y tamaño; estos dependen de los procesos fisiológicos específicos que ocurren durante la madurez (Dos Santos *et al.*, 2015). Hoy en día los consumidores de pimiento morrón tienden a demandar mejor calidad de productos de consumo, por lo tanto, la apariencia externa del fruto y su uniformidad son criterios importantes usados por las compañías de semillas para la selección de sus nuevas variedades, en los últimos años los factores de calidad están enfocados a calidad interna, es decir, se están utilizando estos parámetros en la selección de genotipos (Rodríguez y Nuez, 2006). En el presente trabajo estos parámetros también fueron de gran importancia, mismos que mostraron significancia estadística, en luminosidad ( $L^*$ ) destacó el genotipo P-02 con un valor de 32.02, aunque el valor es menor al de cultivares de pimiento reportados por López *et al.* (2013) con un dato de 39.1 de luminosidad, tendencias similares se han reportado en pimientos tipo California rojos evaluados por Martín (2013), en donde la ( $L^*$ ) fue ligeramente superior con 35.6, mientras que los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) y ángulo de matiz ( $h^*$ ) señalados por este investigador, superaron a los obtenidos en esta investigación.

### **Determinaciones bioquímicas**

Los pimientos resultan ser verduras populares debido a la combinación de color, sabor y contenido nutricional; sin embargo, diferentes colores de pimiento tienen distintos valores nutritivos como su capacidad antioxidante, fenoles y contenido de carotenoides. Con referencia a esto, Cortés-Estrada *et al.* (2020) reportaron valores superiores en pimientos rojos, con un contenido de fenoles en fruto de 10250 mg GAE kg<sup>-1</sup>. Cabe destacar que, el contenido de fenoles en pimientos rojos es mayor a los verdes, debido a que estos aumentan conforme aumenta el grado de madurez (Martínez *et al.*, 2020). En cuanto al contenido de carotenos

los resultados fueron inferiores a los 850 mg GAE kg<sup>-1</sup> (Cortés-Estrada *et al.*, 2020). Finalmente, los valores de capacidad antioxidante fueron considerablemente elevados, tanto por la metodología de DDPH como para ABTS, con 4.85 molTE/g y 65.56 molTE/g respectivamente. Se debe agregar que, los valores de capacidad antioxidante varían dependiendo del ensayo aplicado, esta variación revela la diferente sensibilidad de cada ensayo al ácido gálico que se utiliza como referencia (Fotakis, *et al.*, 2012). Con relación a esto, Cares *et al.* (2015) observaron que la capacidad antioxidante fue de 1281  $\mu$ mol Trolox/100g, donde el método de determinación fue distinto a los utilizados en esta investigación, de modo que los valores obtenidos difieren.

En otras Investigaciones, híbridos tipo blocky color rojo (Camacho, 2020) se obtuvieron contenidos de carotenoides de entre 2.7 a 3.08  $\mu$ g/100 g<sup>-1</sup>, valores muy por debajo a los descubiertos en los genotipos que se evaluaron en esta investigación. Mohamed *et al.* (2021) obtuvieron frutos con un bajo contenido de carotenoides, oscilando de entre 0.84 a 0.86 mg/100 g comparados con los frutos de esta investigación los cuales se encontraron entre 20.22 a 30.79 mg/100 g de carotenoides. El contenido de fenoles es parte de un sistema de señales, activadas por distintas condiciones de estrés a la que la planta es expuesta. Guzmán (2013), además reportó frutos con contenido de fenoles de entre 88.5 hasta 109.8 mgGAE/100g<sup>-1</sup>. Los alimentos que posean contenidos antioxidantes resultan positivos sobre la salud cardiometabólica y un funcionamiento cognitivo. Pimientos rojos evaluados por Cortés-Estrada *et al.* (2020), tuvieron una capacidad antioxidante de 701.1 para ABTS y para DDPH 52.2 expresado en  $\mu$ moles Trolox/50 mL, resultados muy inferiores a los descritos esta investigación, ya que para ABTS los valores oscilaron entre 2224.65 hasta 2377.47 y para DDPH entre 2121.77 hasta 2679.45 en  $\mu$ molTE/kg<sup>-1</sup>.

### **Contenido de minerales**

El rendimiento de un cultivo puede verse afectado en la ausencia de macronutrientes durante su desarrollo vegetativo y reproductivo. Llegando a reducir el tamaño, peso y número de frutos (Garza-Alonso *et al.*, 2020). El mineral K tiene una relación con la calidad y rendimiento de los cultivos, puesto que incrementa el color, sabor, vitamina C, mayor tamaño y vida de anaquel (Fajardo-Rebollar *et al.*, 2022).

En investigaciones, como la de Díaz-Pérez (2010), las concentraciones de la mayoría de nutrientes, excepto calcio y magnesio disminuyen a medida que avanza la temporada en otoño como en primavera. En plantas maduras las concentraciones foliares de N, P, K, Ca y Mg no se correlacionaron con concentraciones minerales en frutos. Mientras que Morales (2013) reportó un promedio de 70 ppm de contenido de Fe en frutos de pimiento, valor inferior al que obtuvo el genotipo P-04. Sin embargo, en Zn y Cu los valores encontrados fueron similares a los del genotipo P-01 con 19 y 6 ppm. La importancia de los minerales presentes en el fruto radica en que contribuyen en la formación de un fruto de calidad, como el Ca que resulta ser un elemento nutritivo presente en el grosor del pericarpio (Parcero, 2014).

### **Clasificación comercial**

Es importante recordar que la calidad de un producto es un parámetro decisivo para que un consumidor adquiera el producto. Entonces bien, la calidad es muy variable (Toledo, 2013), ya que depende de los gustos del mercado al que va dirigido. El peso de cada fruto es relevante para poder definir categorías comerciales y estas sean destinadas a un mercado con la capacidad de comprarlo, es decir el pimiento se puede clasificar de acuerdo con el mercado de destino. Existen mercados nacionales y para exportación; ellos difieren en la forma del pimiento (cónica-cuadrada), peso y el color (verde, naranja, amarillo y rojo).

En investigaciones de Elizondo y Monge (2017) de evaluación de rendimiento y calidad de híbridos de pimiento, realizaron una clasificación de frutos cosechados de acuerdo con parámetros de calidad: longitud y ancho del fruto, forma de frutos y manchas o estrías en fruto, distribuidos en categoría de primera, segunda y rechazo. De acuerdo con el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), en México el precio promedio de pimiento morrón varia conforme a los distintos mercados y centros de abasto producto-centro mayorista de pimiento morrón de primera calidad. Los estados de Baja california, Colima y Sonora cuentan con los precios de venta más alto; donde el rango de precio va de 60 hasta 100 pesos por kilogramo (SNIIM, 2022).

## CONCLUSIONES

Con base a la evaluación agronómicas y de calidad nutricional-nutracéutico de los frutos de los genotipos de pimiento morrón, se pueden generar aportes relevantes, con el fin de identificar y seleccionar material genético que presenten atributos promisorios deseables.

- El desempeño agronómico de los genotipos fue similar bajo las condiciones probadas, no obstante, por la longitud de los frutos y el número de semillas, el potencial genético del genotipo P-03 pudiera ser aprovechable. Mientras que, en número de frutos cosechados por planta, los genotipos de mayor potencial son P-03 y P-04, características genéticas que pudieran ser de interés y aprovechables para programas de mejoramiento genético, mediante la selección de individuos sobresalientes dentro de los genotipos.
- En cuanto a la calidad nutricional de fruto, los genotipos P-04 y P01 cuentan con mayor potencial de absorción y concentración de nutrientes en fruto, como el N y Mn, tendencia observada en el resto de macrolementos, que influyen al momento de selección de genotipos para mejoramiento genético.
- Los genotipos P-02 y P-03 destacaron en la clasificación comercial, ya que produjeron mayor cantidad de frutos de entre 180 a 239 gramos, tamaño preferente entre los consumidores.
- Las variables con las diferencias entre tratamientos, pueden dar lugar a la selección de genotipos con mayor cuaje de frutos, longitud de fruto y mejor calidad comercial.

- Los datos generados en esta investigación deben tomarse como preliminares y de tendencia en el comportamiento de los genotipos, ya que se requiere de más evaluaciones y selecciones posteriores, con el fin de tener un mejor criterio en cuanto al comportamiento agronómico y productivo de los mismos.
- El desempeño agronómico de los genotipos fue ligeramente variable bajo las condiciones de evaluación, variabilidad que se atribuye a la genética propia de los genotipos, misma que pudiese usarse para la generación de nueva variabilidad genética o en su caso la generación de nuevas líneas o variedades de pimiento morrón.



## REFERENCIAS

- Achal, S.H., Lal, S.D., Pant, C.E. Variability studies in chilli. *Progressive horticulture* 1986. 18(3-4), 270-272. Disponible en: <https://eurekamaq.com/research/001/999/001999002.php>
- Aguilar-Meléndez, A., Vásquez, M.A., Katz, E., Colorado, H. 2018. Mejoramiento genético de los chiles comerciales en México. Los chiles que le dan sabor al mundo: contribuciones multidisciplinarias. Primera edición. Ramírez, M. Méndez, R. Marsella, Francia. IRD. 318 p. ISBN: 9786075026992. <http://libros.uv.mx/index.php/UV/catalog/download/FC278/1087/1179-1?inline=1>
- Aguilar-Rincón, V.H., Corona Torres, T., López López, P., Latournerie Moreno, L., Ramírez Meraz, M., Villalón Mendoza, H. y Aguilar Castillo, J. 2010. Los Chiles de México y su Distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UNAL y UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. p .114. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Luis-Latournerie/publication/235657255\\_Los\\_chiles\\_de\\_Mexico\\_y\\_su\\_distribucion/links/553c39f70cf2c415bb0b2c2b/Los-chiles-de-Mexico-y-su-distribucion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Latournerie/publication/235657255_Los_chiles_de_Mexico_y_su_distribucion/links/553c39f70cf2c415bb0b2c2b/Los-chiles-de-Mexico-y-su-distribucion.pdf)
- Alcántar, G.G. y Sandoval, V.M. 1999. Handbook Chemical Analysis of Vegetal Tissue. Especial Publication No. 10, Mexican Society of Soil Science (In spanish). Chapingo, Estado de México. México.
- Al-Harbi, A.R., Obadi, A., Al-Omran, A. M. and Abdel-Razzak, H. 2020. Sweet peppers yield and quality as affected by biochar and compost as soil amendments under partial root irrigation. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*,19(7), 452-460. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.08.002>
- Althaus, B. y Blanke, M. 2021. Development of a Freshness Index for Fruit Quality Assessment—Using Bell Pepper as a Case Study. *Horticulturae*, 7(10), 405. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100405>
- Álvarez, F. y Pino, M.T. Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile. Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. Pino, M.T.; Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 360, Santiago, Chile. 2018, 42-43 pp. Disponible en: [https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/31541/INIA\\_Libro\\_0065.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=43](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/31541/INIA_Libro_0065.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=43)
- Arzube, V.M., Ramos, N.V. y Villa, D.P. 2022. Evaluación del contenido de ácido ascórbico en pimiento rojo y amarillo (*Capsicum annuum*) en Ecuador. *Revista Universidad de Guayaquil*, 134(1), 1-11.

<https://doi.org/10.53591/rug.v134i1.1415>

- Ayala-Villegas, M.J., Ayala-Garay, Ó.J., Aguilar-Rincón, V.H. y Corona-Torres, T. 2014. Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 79-87. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802014000100011&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802014000100011&script=sci_arttext)
- Babak, O.G., Nikitinskaya, T.V., Nevestenko, N.A., Puhacheva, I.G., Dobrodkin, M.M., Khotyleva, L.V. and Kilchevsky, A.V. 2019. Peculiarities of heterosis manifested by yield and fruit quality traits in pepper F. *Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*, 24, 221. DOI 10.18699/ICG-PlantGen2019-72
- Bensid, A., El Abed, N., Houicher, A., Regenstein, J.M. and Özogul, F. 2022. Antioxidant and antimicrobial preservatives: Properties, mechanism of action and applications in food—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(11), 2985-3001. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1862046>
- Blasco, C. 2004. Mejora genética en pimiento para la obtención de híbridos. Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Valencia. España. 2004. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=215903>
- Bobadilla-Larios, V., Esparza-Ibarra, E., Delgadillo-Ruiz, L., Gallegos-Flores, P. y Ayala-Lujan, J.L. 2017. Variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) identificadas mediante marcadores RAPD. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 465-473. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93953814014>
- Brim, Charles A. 1966. A Modified Pedigree Method of Selection in Soybeans 1. *Crop Science* 6 (2): 220-220. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600020041x>
- Bremner J.M. 1965. Total nitrogen. In: Norman AG (Ed). *Methods for Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA, pp 1149-1178.
- Cabañas, C.B., Galindo, G.G., Reveles, H.M. y Bravo, L.A. 2006. Selección, producción y conservación de semilla de cultivares de chile seco. *Tecnología de producción de chile seco*. INIFAP-campo experimental Zacatecas. Libro Técnico N° 5. 19-44pp.
- Camacho, G.R. Calidad de semilla y fruto de pimiento morrón con distinto grado de madurez producidos en dos condiciones de luminosidad. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 2020. Disponible en:

<https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/ca3002e0-9c92-4068-97d4-64c14cfad82f>

- Cares, I.E., Damián, M.T., Pérez, J.E., Álvarez, O.C. y Ramírez, S.P. 2015. capacidad antioxidante en variedades de pi-miento. *Interciencia* 40, 696–703. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33941643008>
- Carrizo G., Sterpetti, M., Volpi, P., Ummarino, M. and Saccardo, F. 2013. Wild *Capsicums*: identification and *in situ* analysis of Brazilian species. Breakthroughs in the genetics and breeding of *Capsicum* and eggplant. Edited by S. Lanteri, and GL Rotino, 2013, 205-213.
- Carrizo, C., Barfuss, M.H., Sehr E.M., Barboza, G.E., Samuel, R., Moscone, E.A. and Ehrendorfer, F. 2016. Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, *Solanaceae*). *Annals of botany*, 118(1), 35-51. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>
- Castillejo, N., Martínez-Zamora, L., Artés-Hernández, F. 2022. Postharvest UV radiation enhanced biosynthesis of flavonoids and carotenes in bell peppers. *Postharvest Biology and Technology*. 184, 111774. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111774>
- Cetz, L.J. Micropropagación de chile dulce (*Capsicum annuum* L. var. Najera.) y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con miras al mejoramiento genético del cultivo. Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2005.
- Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M. H., ElSohly, M. A. and Khan, I. A. 2014. Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/253875>
- Chen, P., Wang, F. y Dong, P. 2009. Response of yield and quality of hot pepper in greenhouse to irrigation control at different stages in arid northwest China. *Scientia Agricultura Sinica*. 42(9), 3203-3208. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2009.09.023>
- Choi, M.H., Kim, M.H. and Han, Y.S. 2022. Physicochemical properties and antioxidant activity of colored peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Science and Biotechnology*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01177-x>
- Commission Internationale De L'eclairage. Cie 15: Technical Report: Colorimetry, Commission Internationale De L'eclairage, 3rd ed.; CIE: Vienna, Austria. 2004.

- ColorHexa. Color Encyclopedia: Information and Conversion. Computer Software. 2022. Disponible en: <https://www.colorhexa.com/>
- Cisternas-Jamet, J., Salvatierra-Martínez, R., Vega-Gálvez, A., Stoll, A., Uribe, E. and Goñi, M.G. 2020. Biochemical composition as a function of fruit maturity stage of bell pepper (*Capsicum annum*) inoculated with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Scientia Horticulturae*, 263, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109107>
- Cornejo, J. 2005. Recuperación de variedades tradicionales de tomate y pimiento. Caracterización y mejora genética. Tesis de Licenciatura Universidad Politécnica de Valencia. España. 2005. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=242930>
- Cortés-Estrada, C.E; Gallardo-Vázquez, G.; Osorio-Revilla, E.; Castañeda-Pérez, y Hernández-Martínez, D.M. 2020. Evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) de diferentes colores. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 5, 139-144. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/3/28.pdf>
- Cortés-Estrada, C.E., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., Castañeda-Pérez, E., Meza-Márquez, O.G., del Socorro López-Cortez, M. and Hernández-Martínez, D.M. 2020. Prediction of total phenolics, ascorbic acid, antioxidant capacities, and total soluble solids of *Capsicum annum* L. (*bell pepper*) juice by FT-MIR and multivariate analysis. *Lwt*, 126, 109285. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109285>
- Cuarán, D., Cardona, J., Pantoja, R., Lozano, J., Cabrera, F. y Caetano, C. 2022 Caracterización morfológica y proximal de introducciones de *Capsicum chinense* Jacq. (Solanaceae) para uso en programas de mejoramiento genético. *Magna Scientia UCEVA*, 2(1), 117-128. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n1a12>
- Del Castillo, J.A., Amaya, U., Sadaba, S., Aguado, G., y De Galdeano, S.J. 2004. Pimiento en invernadero: guía del cultivo. *Navarra agraria*, (144), 7-13. Disponible en: <https://www.navarraagraria.com/categories/item/315-guia-de-cultivo-del-pimiento-de-invernadero>
- Devi, J., Sagar, V., Kaswan, V., Ranjan, J.K., Kumar, R., Mishra, G.P., Dubey, R.K. y Verma, R. K. *Advances in Breeding Strategies of Bell Pepper (Capsicum Annuum* L. Var. *Grossum* Sendt.). In *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*, 1ª ed.; Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., Johnson, D. V., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2021; Vol.9: *Fruits and Young Shoots*, pp 3–58. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4_1)

- Díaz-Pérez, J.C. 2010. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) grown on plastic film mulches: effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. *HortScience*,45(8), 1196-1204.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1196>
- Dos Santos, R.S., Arge, L.W.P., Costa, S.I., Machado, N.D., de Mello-Farias, P.C., Rombaldi, C.V. y de Oliveira, A.C. 2015. Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*.8(2). Disponible en: <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.064306514227779>
- Dobón-Suárez, A., Giménez, M.J., Castillo, S., García-Pastor, M.E. and Zapata, P.J. 2021. Influence of the Phenological Stage and Harvest Date on the Bioactive Compounds Content of Green Pepper Fruit. *Molecules*,26(11), 3099. <https://doi.org/10.3390/molecules26113099>
- Duarte, R.M.; Contreras, R.L.G.; Contreras, F.R. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biotecnia* 14(3), 32-38.  
<https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.127>
- Duranova, H., Valkova, V. and Gabriny, L. 2022. Chili peppers (*Capsicum* spp.): the spice not only for cuisine purposes: an update on current knowledge. *Phytochemistry Reviews* 21, 1379-1413.  
<https://doi.org/10.1007/s11101-021-09789-7>
- Elizondo, C.E. y Monge, P.J. 2017. Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annum*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes* 18(37), 129-154.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/28652>
- Fajardo-Rebollar, E., Estrada, K., Grande, R., Ek Ramos, M.J., Vargas, G.R., Villegas-Torres, O.G., Juárez, A.M., Sánchez-Flores, A. y Díaz-Camino, C. 2021. Bacterial and fungal microbiome profiling in chilhuacle negro chili (*Capsicum annum* L.) associated with fruit rot disease. *Plant disease*,105(9), 2618-2627. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-20-2098-RE>
- Fajardo-Rebollar, E., Villegas-Torres, O.G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava, H., Perdomo Roldán, F., y Viveros-Ceballos, J.L. 2022. Nutrición mineral del chilhuacle en tres etapas fenológicas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,13(1), 155-165.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2894>
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Extracción y obtención de semillas hortícolas. Manual Técnico: Producción Artesanal de Semillas de Hortalizas para la Huerta Familiar. Izquierdo, J;

- Grana-dos-Ortiz, S. FAO: Santiago de Chile, 2011. 98p. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i2029s/i2029s.pdf>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022. FAOSTAT. Cultivos y Productos de ganadería. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022. FAOSTAT. Valor de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QV/visualize>
- Fornaris, G.J. 2005. Cosecha y manejo postcosecha. Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento: Tipos 'cubanelle' y 'campana'. Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico.164. Disponible en: <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Cosecha-y-Manejo-Postcosecha-v2005.pdf>
- Fotakis, C.; Christodouleas, D.; Zervou, M.; Papadopoulos, K.; Calokerinos, A.C. 2012. Classification of wines based on different antioxidant responses to spectrophotometric analytical methods. *Analytical letters*. 45(5-6), 581-591. <https://doi.org/10.1080/00032719.2011.649456>
- Frank, C.A., Nelson, R.G., Simonne, E.H., Behe, B.K. and Simonne, A.H. 2001. Consumer preferences for color, price, and vitamin C content of *bell peppers*. *HortScience*,36(4), 795-800. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.4.795>
- Galindo, G.G. y Cabañas, C.B. 2006. El cultivo de chile en Zacatecas. Tecnología en producción de chile seco. INIFAP-campo experimental Zacatecas. Libro Técnico N° 5. 5-18 pp.
- García-López, J.I., Niño-Medina, G., Olivares-Sáenz, E., Lira-Saldivar, R.H., Barriga-Castro, E.D., Vázquez-Alvarado, R., Rodríguez-Salinas, P.A. and Zavala-García, F. 2019. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants*,8(8), 254. <https://doi.org/10.3390/plants8080254>
- García, L.R.L., Torres, V.R., Godina, F.R., Villarreal, R.M. and Rodríguez, M.A.P. 2021. Selection of F3 populations of *Capsicum annum* for greenhouse production. *Australian Journal of Crop Science*,15(3), 438-444. doi: 10.21475/ajcs.21.15.03. p3046
- Garza-Alonso, C.A., Guillermo, N.M., Gutiérrez-Diez, A., García-López, J.I., Vázquez-Alvarado, R.E., López-Jiménez, A. and Olivares-Sáenz, E. 2020. Physicochemical characteristics, minerals, phenolic compounds, and antioxidant capacity in fig tree fruits with macronutrient deficiencies.

Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48(3), 1585-1599.  
<https://doi.org/10.15835/nbha48311867>

González-Saucedo, A., Barrera-Necha, L.L., Ventura-Aguilar, R.I., Correa-Pacheco, Z.N., Bautista-Baños, S. and Hernández-López, M. 2019. Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract (L.) Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 74-82.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.019>

Guerra, M.; Magdaleno, R.; Casquero, P.A. 2011. Effect of site and storage conditions on quality of industrial fresh pepper. *Scientia Horticulturae*. 130(1), 141-145. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.027>

González-Pérez., Ramírez-Meraz, M., Ku, J.C., López, R.F., y Valdez, L.M. 2021. Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (25), 1-13. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8164203>

Guzmán, J. M. Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv' Cannon' obtenido mediante bio-fertilización. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro. 2013. Disponible en: <http://ring.uaq.mx/handle/123456789/417>

Harel, B., van Essen, R., Parmet, Y. and Edan, Y. 2020. Viewpoint analysis for maturity classification of sweet peppers. *Sensors*, 20(13), 3783. <https://doi.org/10.3390/s20133783>

Hernández-Montiel, L.G., Murillo-Amador, B., Chiquito-Contreras, C.J., Zuñiga-Castañeda, C.E., Ruiz-Ramírez, J. y Chiquito-Contreras, R.G. 2020. Respuesta morfo-productiva de plantas de pimiento morrón biofertilizadas con *Pseudomonas putida* y dosis reducida de fertilizantes sintéticos en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 38(3), 583-596. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.651>

INTAGRI, Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. 2013. Aspectos clave para la producción exitosa de pimiento en invernadero. Serie Horticultura Protegida. Núm. 3. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 2 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/aspectos-claves-produccion-pimiento-invernadero>

IPGRI, AVRDC, CATIE. 1995. Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, and the

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 51 p.

- Jiménez U.J., Morgan, H.C., Ramírez, J.V., Mayorga, S.M., Jaikel, L.B. y Alfaro, M.C. 2007. Agrocadena regional cultivo: chile dulce. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Central Occidental, 76 p. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4281.pdf>
- Joshi, S. and Berke, T. 2004. Perspectives of Bell Pepper Breeding. *Journal of New Seeds*, 6(2–3), 51–74. [https://doi.org/10.1300/J153v06n02\\_04](https://doi.org/10.1300/J153v06n02_04)
- Jyothi, K.U.; Kumari, S.S.; Ramana, C.V. 2011. Variability studies in chilli (*Capsicum annuum* L.) with reference to yield attributes. *Journal of Horticultural Sciences*. 6(2), 133-135. Disponible en: <https://jhs.iihr.res.in/index.php/jhs/article/view/420>
- Kabir, M. Y.; Nambeesan, S. U.; Bautista, J.; Díaz-Pérez, J. C. 2021. Effect of irrigation level on plant growth, physiology and fruit yield and quality in *bell pepper* (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*. 281, 109902. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109902>
- Karim, K.R., Rafii, M.Y., Misran, A.B., Ismail, M.F., Harun, A.R., Khan, M.M., and Chowdhury, M.F. 2021. Current and Prospective Strategies in the Varietal Improvement of Chilli (*Capsicum annuum* L.) Specially Heterosis Breeding. *Agronomy*, 11(11), 2217. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112217>
- Kasampalis, D.S., Tsouvaltzis, P., Ntouros, K., Gertsis, A., Gitas, I., Moshou, D. and Siomos, A.S. 2022. Nutritional composition changes in bell pepper as affected by the ripening stage of fruits at harvest or postharvest storage and assessed non-destructively. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(1), 445-454. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11375>
- Kim, Y.X., Kim, T.J., Lee, Y., Lee, S., Lee, D., Oh, T.K. and Sung, J. 2018. Metabolite profiling and mineral nutrient analysis from the leaves and roots of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. *angulosum*) grown under macronutrient mineral deficiency. *Applied Biological Chemistry*, 61(6), 661-671. <https://doi.org/10.1007/s13765-018-0395-z>
- Kraft, K.H., Brown, C.H., Nabhan, G.P., Luedeling, E., Ruiz, J.D.J.L., d'Eeckenbrugge, G.C., Hijmans, R.J., and Gepts, P. 2014. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in México. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6165-6170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>
- Kumar, V., Singh, D.K., Yadav, P., Tiwari, A. y Singh, P. 2021. Genetic improvement of bell pepper under protected structures-A review. *International Journal of Farm Sciences*, 11(1and2), 102-106.



- Lagos, L., Vallejo, F., Lagos, T., y Duarte, D. 2020. Evaluación agronómica de familias de medios hermanos de lulo de Castilla, *Solanum quitoense* Lam. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica,23(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1334>
- Lee, Y., Hwang, T.Y., Lee, S., Shinogi, Y., Oh, T.K. and Sung, J. 2020. Nutrient-Specific Variation of C-N Metabolism in the Leaves and Roots of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) in Response to Macronutrient Deficiency. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 65(1). <https://doi.org/10.5109/2558887>
- Lee, M.C., Oh, S.J., Song, J.Y., Lee, J., Lee, G.A., Ko, H.C., Stoilova, T., Krasteva, L., Kim, K.G., Rhee, J.H., Gwag, J.G., Ro, N.Y. and Hur, O.S. 2012. Evaluation of genetic diversity of red pepper landraces (*Capsicum annuum* L.) from Bulgaria using SSR markers. Journal of the Korean Society of International Agriculture,24(5), 547-556. <https://doi.org/10.12719/KSIA.2012.24.5.547>
- Leng, Z., Zhong, B., Wu, H., Liu, Z., Rauf, A., Bawazeer, S. and Suleria, H.A.R. 2022. Identification of Phenolic Compounds in Australian-Grown Bell Peppers by Liquid Chromatography Coupled with Electrospray Ionization-Quadrupole-Time-of-Flight-Mass Spectrometry and Estimation of Their Antioxidant Potential. ACS omega,7(5), 4563-4576. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06532>
- Liu, C., Wan, H., Yang, Y., Ye, Q., Zhou, G., Wang, X., Ahammed, J.G. and Cheng, Y. 2022. Post-Harvest LED Light Irradiation Affects Firmness, Bioactive Substances, and Amino Acid Compositions in Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.). Foods,11(17), 2712. <https://doi.org/10.3390/foods11172712>
- Llatas, M., Ángeles, J., Pizarro, F., Regalado, L., Rodríguez, S., Rodríguez, J., Pita, D., Cerdán, W., Luján, L., Human, J., Aguilar, E. Ulloa, W. and Rosales, Y. 2021. Mejoramiento genético en plantas autógamias. REBIOL,41(1), 136-153. <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.14>
- Loizzo, M. R., Pugliese, A., Bonesi, M., Menichini, F., and Tundis, R. 2015. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. LWT-Food Science and Technology, 64(2), 623-631. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.042>
- Lucero, J.M. y Sánchez, V.C. 2012. Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 83p. Disponible en:

<https://docplayer.es/3917627-Inteligencia-de-mercado-de-pimiento-morron-verde.html>

- Luna, L.R.G., Robledo, V.T., Ramírez, F.G., Mendoza, R.V., Pérez, Miguel Á.R. y Gordillo, F.A.M. 2021. Comportamiento agronómico y nutraceutico de poblaciones F2 desarrolladas de cruza interracial de Chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 23-36. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2423>
- Lwin, H.P., Lee, J. and Lee, J. 2022. Perforated modified atmosphere packaging differentially affects the fruit quality attributes and targeted major metabolites in bell pepper cultivars stored at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, 301, 111131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111131>
- Madhavi, R.K., Shivashankara, K.S., Geetha, G.A., and Pavithra, K.C. 2016. *Capsicum* (hot pepper and bell pepper). In: Rao, N., Shivashankara, K., Laxman, R. (eds) *Abiotic stress physiology of horticultural crops*. Springer, New Delhi. (pp. 151-166). [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0_9)
- Mahmood, T., Rana, R.M., Ahmar, S., Saeed, S., Gulzar, A., Khan, M.A., Wattoo, F.M., Xiukang, W., Branca, F., Mora-Poblete, F., Mafra, G.S. and Du, X. 2021. Effect of Drought Stress on Capsaicin and Antioxidant Contents in Pepper Genotypes at Reproductive Stage. *Plants*,10(7), 1286. <https://doi.org/10.3390/plants10071286>
- Márquez, S.F. 1988. *Genotecnia vegetal*. AGT Editor. México. Tomo II.481-632pp.
- Mata, N and Ramos, H. 2012. Comportamiento agronómico de siete cultivares de pimentón (*Capsicum annuum* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*. 12 (1), 32-44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4277704>
- Martínez, C.N. Caracterización morfológica y molecular de poblaciones nativas de Chile miahuateco (*Capsicum annuum* L.) Tesis de Doctorado, Universidad autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Estado de México. 2022. Disponible en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/1425>
- Martín, N. C. and González, W. G. Caracterización de accesiones de Chile (*Capsicum* spp). *Agronomía mesoamericana* 1991. 2(1), 31-39. <https://doi.org/10.15517/am.v2i0.25219>
- Martínez, I.E., Martínez-Cuenca, M. R.; Marsal, J. I.; Cerda, M. J.; Díez, M. J.; Soler, S.; V alcárcel, J. V.; Calatayud, A. 2020. Caracterización Nutricional de Variedades Tradicionales Valencianas de Pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Agríc. Vergel*, 428, 209–215. <https://core.ac.uk/reader/487606368>

- Martínez-Ispizua, E., Calatayud, Á., Marsal, J.I., Mateos-Fernández, R., Díez, M.J., Soler, S. and Martínez-Cuenca, M.R. 2022. Phenotypic Divergence among Sweet Pepper Landraces Assessed by Agro-Morphological Characterization as a Biodiversity Source. *Agronomy*, 12(3), 632. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030632>
- Melanio, M.F. y Ortuño, Rojas, L.H. 2021. Evaluación del efecto de soluciones nutritivas con fertirrigación en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Apthapi*, 7(1), 2152-2159. Disponible en: <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/83>
- Mennella, G., D'Alessandro, A., Francese, G., Fontanella, D., Parisi, M. and Tripodi, P. 2018. Occurrence of variable levels of health-promoting fruit compounds in horn-shaped Italian sweet pepper varieties assessed by a comprehensive approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3280-3289. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8831>
- Mis-Valdez, Y.A., Pinto, M.J., Garruña, R., Dzul, K.B., y Andueza-Noh, R.H. 2022. Características fenotípicas, nutricionales y nutraceuticas de frutos de chile x' catik, dulce y su híbrido F1 (*Capsicum annuum* L.). *Polibotánica*, (53), 183-195. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.12>
- Mohamed, M.H., Sami, R., Al-Mushhin, A.A., Ali, M.M., El-Desouky, H.S., Ismail, K.A., Khalil, R. y Zewail, R.M. 2021. Impacts of Effective Microorganisms, Compost Tea, Fulvic Acid, Yeast Extract, and Foliar Spray with Seaweed Extract on Sweet Pepper Plants under Greenhouse. *Plants*, 10 (9), 1927. <https://doi.org/10.3390/plants10091927>
- Morales, G.J. Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv 'Cannon' obtenido mediante biofertilización. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. 2013. Disponible en: <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/417>
- Moreno-Gómez, T., Hernández-Pérez, A., Sandoval-Rangel, A., Robledo-Torres, V., Mendoza-Villarreal, R. y González-Fuentes, J.A. 2021. Interacción entre calcio y boro en el crecimiento y contenido mineral de plantas de pimiento morrón. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3). <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2813>
- Moreno-Pérez, E., Mora, A.R., Sánchez del Castillo, F. y García-Pérez, V. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(SPE2), 5-18. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1027-152X2011000500002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000500002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Munzón, M.; Holguin, B.; Chávez, G. 2022. Respuesta agronómica del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L) a dos condiciones de riego. *Agroindustrial Science* 12(1), 73-80. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.09>
- Naderi, S. A., Dehkordi, A. L. and Taki, M. 2019. Energy and environmental evaluation of greenhouse bell pepper production with life cycle assessment approach. *Environmental and Sustainability Indicators*, 3-4, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100011>
- Nadeem, M., Anjum, F.M., Khan, M.R., Saeed, M. and Riaz, A. 2011. Antioxidant potential of *bell pepper* (*Capsicum annuum* L.)-A review. *Pakistan Journal of Food Science*, 21(1-4), 45-51. Disponible en: [https://www.academia.edu/download/50222750/Antioxidant\\_Potential\\_of\\_Bell\\_Pepper\\_Ca20161109-8360-h3m2nd.pdf](https://www.academia.edu/download/50222750/Antioxidant_Potential_of_Bell_Pepper_Ca20161109-8360-h3m2nd.pdf)
- Normando, A., Taylor, J., Edwards, J. and Kuchel, H. 2018. Optimizing genomic selection in wheat: effect of marker density, population size and population structure on prediction accuracy. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 8(9), 2889-2899. <https://doi.org/10.1534/g3.118.200311>
- Nurzyńska-Wierdak, R., Buczkowska, H. and Sałata, A. 2021. Do AMF and Irrigation Regimes Affect *Sweet Pepper* Fruit Quality under Open Field Conditions. *Agronomy*, 11(11), 2349. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112349>
- Park, J.H., Jeon, G.I., Kim, J.M. and Park, E. 2012. Antioxidant activity and antiproliferative action of methanol extracts of 4 different colored *bell peppers* (*Capsicum annuum* L.). *Food Science and Biotechnology*, 21(2), 543-550. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0069-2>
- Painii, C.E.G. Características físicas y químicas del fruto de pimiento (*Capsicum annuum* L), por la aplicación de biopirosil vía foliar bajo condiciones semi controladas en la zona de Vinces, Ecuador. Tesis de Licenciatura de la carrera de Ingeniería Agronómica Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias para el Desarrollo. Vinces Los Ríos, Ecuador. 2017. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29858/1/TESIS%20FINAL%20ELIAS%20%20PAINII.pdf>
- Parcero, S.R. Calidad y Potencialidad del Pimiento Morrón Desarrollado con Abonos Orgánicos y Arena en Invernadero. Tesis de Licenciatura. Auniversidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 2014.
- Pereira de acosta, J.H., Cambiaso, V., Picardi, L.A., Pratta, G.R., Rodríguez, G.R. 2021. Fruit quality improvement through the incorporation of wild species genes in the tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *BAG. Journal of Basic and Applied Genetics* Vol XXXII Issue 2: 41-50. DOI: 10.35407/bag.2021.32.02.05

- Pérez-Castañeda, L.M., Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraz, M. y Mayek-Pérez, N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 2(4), 117-128. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282015000100009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100009)
- Perry, L., Dickau, R., Zarrillo, S., Holst, I., Pearsall, D.M., Piperno, D.R., Berman, M., Cooke, R.G., Rademaker, K., Ranere, A.J., Raymond J.S., Sandweiss, D.H., Scaramelli, F., Tarble, K. and Zeidler J.A. 2007. Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. Science, 315(5814), 986-988. <https://doi.org/10.1126/science.1136914>
- Pickersgill, B. 1997. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. Euphytica 96, 129–133. <https://doi.org/10.1023/A:1002913228101>
- Pickersgill B. 2007. Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. Annals of botany, 100(5), 925-940. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm193>
- Pino, M.T. y Saavedra, J. 2018. Origen y desafíos del mejoramiento genético del pimiento a nivel mundial y nacional. Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. M. Pino (Ed)., (19-40). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6647/NR40850.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, G.A. 2021. Caracterización *in situ* de la diversidad morfológica de chiles ('*Capsicum*' spp.) silvestres y cultivados de la Región Usumacinta del estado de Tabasco. Kuxulkab', 27(58): 49-57, <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n58.3959>
- Ramírez, M., Cavazos, G. y Aguilar, R. 2018. Jaguar: cultivar de chile habanero para México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(2), 487-492. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1089>
- Ramírez, M., Arcos, C., Mata, V. y Vázquez G. 2007. Coloso, híbrido de chile serrano para las regiones productoras de México. Folleto Técnico 21. Campo Experimental Sur de Tamaulipas: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 31 p. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/245.pdf>
- Ramírez M. y Méndez, A. 2018. Mejoramiento genético de los chiles comerciales en México. IRD (Ed). Los chiles que le dan sabor al mundo: contribuciones

multidisciplinarias. (286-300). Disponible en:  
<http://libros.uv.mx/index.php/UV/catalog/download/FC278/1087/1179-1?inline=1>

Rao, A. and Anilkumar, C. 2020. Conventional and Contemporary Approaches to Enhance Efficiency in Breeding Chilli/Hot Pepper. In Accelerated Plant Breeding, Volume 2(pp. 223-269). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47298-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47298-6_9)

Reche M.J. Descripción Botánica de la Planta. Cultivo del pimiento dulce en invernadero. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Secretaría General Técnica. Almería, 2010. 293 p. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupalajda/1337160265Cultivo\\_Pimiento\\_Invernadero.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupalajda/1337160265Cultivo_Pimiento_Invernadero.pdf)

Rao, T.R., Gol, N.B. y Shah, K.K. 2011. Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). Scientia Horticulturae. 132, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.032>

Rodríguez, B.A. and Nuez, F. Mejora de la calidad del pimiento. Mejora genética de la calidad en plantas. Llácer, G., Díez, M. J., Carrillo, J. M., Badenes Catalá, M. L. 1ª ed.; Editorial Universidad Politécnica de Valencia, España, 2006; pp. 361-392. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=294116>

Rodríguez, Y., Casanova, A.S., Rodríguez, S.R., Camejo, C.M., Felipe, A., y Aulán, N. 2018. Nuevas combinaciones híbridas de pimiento para el sistema de cultivo protegido en Cuba. Cultivos Tropicales, 39(1),93-101. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193260614012>

Rodríguez Llanes, Y., Depestre, T. y Palloix, A. 2014. Comportamiento en campo abierto de nuevos híbridos f1 y variedades de pimiento (*capsicum annum* L.) multirresistentes a virus. Cultivos Tropicales, 35(2),51-59. Disponible en : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230070007>

Romano, G., Argyropoulos, D., Nagle, M., Khan, MT. and Müller, J. 2012. Combination of digital images and laser light to predict moisture content and color of bell pepper simultaneously during drying. Journal of food engineering, 109(3), 438-448. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.037>

Ruvalcaba, R.F. 2016. Proyecto de Logística Internacional para exportación de pimiento morrón verde a Polonia. Universidad De Guadalajara. 25 pp. [https://issuu.com/fernandoremington/docs/proyecto\\_de\\_logistica](https://issuu.com/fernandoremington/docs/proyecto_de_logistica)

- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2013. Las huastecas. Campo Experimental. Producción de Pimiento Morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas. ISBN: 978-607-37-0030-6. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/942.pdf>
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Chiles y Pimientos Mexicanos. 2017. <http://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>
- SNIIM, Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. 2022. Resumen SNIIM del Pimiento. Disponible en: <http://www.economia-sniim.gob.mx/analisis/SNIIMproducto.asp?prodC=90201>
- Saisupriya, P., Saidaiah, P. and Pandravada, S.R. 2022. Analysis of genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield related traits in chilli (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Bioresource and Stress Management, 13(4), 387-393. <http://dx.doi.org/10.23910/1.2022.2583>
- Sánchez, B.A. Análisis de la mejora genética de la calidad del pimiento (*Capsicum spp.*). Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 2020. <https://riunet.upv.es/handle/10251/150122>
- Sánchez, M., Sánchez, E.R., Rodríguez, D.M., Cupul, W.C. y Dzul, K.M. 2022. Efecto de inoculantes microbianos en los compuestos bioactivos y actividad antioxidante del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). Biotecnia, 24(3), 123-13. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1691>
- Segovia, L., y Romero, M. 2014. Mejoramiento Genético para Rendimiento en Chile (*Capsicum annum* L) para Consumo en Seco en la Región Centro-Sur del Estado Chihuahua, México. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan, 2(3), 414-427. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/RevistabiologicoagropecuariaTuxpan/2014/no3/37.pdf>
- Sethu, K. P., Prabha, T.N y Tharanathan, R.N. 1996. Postharvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in *Capsicum annuum* fruits. Phytochemistry. 42(4), 961-966. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00057-X](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00057-X)
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario. 2021. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021)
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. 2021. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

- Silva, M.R.E. and Silva, R.N. 2021. Morpho-agronomic characterization and genetic diversity in peppers (*Capsicum* Spp.). *Revista Caatinga*. 34, 505–513. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n302rc>
- Smitha, R.P. and Basavraja, N. 2006. Variability and correlation studies in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Karnataka Journal of Agri-cultural Sciences*.19(4). <http://14.139.155.167/test5/index.php/kjas/article/viewFile/748/740>
- Sood, S., Sood, R., Sagar, V. and Sharma, K.C. 2009. Genetic variation and association analysis for fruit yield, agronomic and quality characters in *bell pepper*. *International Journal of Vegetable Science*, 15(3), 272-284. <https://doi.org/10.1080/19315260902875822>
- Srivastava, A. y Mangal, M. 2019. Crianza de *Capsicum*: Historia y Desarrollo. En: Ramchiary, N., Kole, C. (eds) *The Capsicum Genome*. Compendio de Genomas de Plantas. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_3)
- Swamy, B.N., Hedau, N.K., Chaudhari, G.V., Kant, L. and Pattanayak, A. 2017. CMS system and its stimulation in hybrid seed production of *Capsicum annuum* L. *Scientia Horticulturae*, 222, 175-179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.023>
- Tiwari, V.; Kamara, I.; Ratner, K.; Many, Y.; Lukyanov, V.; Ziv, C.; Gilad, Z.; Esquira, I.; and Charuvi, D. 2022. Daytime or Edge-of-Daytime Intra-Canopy Illumination Improves the Fruit Set of Bell Pepper at Passive Conditions in the Winter. *Plants*.11(3), 424. <https://doi.org/10.3390/plants11030424>
- Tong, R.C., Whitehead, C.S. and Fawole, O.A. 2021. Effects of Conventional and Bokashi Hydroponics on Vegetative Growth, Yield and Quality Attributes of *Bell Peppers*. *Plants*,10(7), 1281. <https://doi.org/10.3390/plants10071281>
- UPOV, Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. 2010. [https://www.upov.int/edocs/expndocs/es/upov\\_exn\\_var.pdf](https://www.upov.int/edocs/expndocs/es/upov_exn_var.pdf)
- Urrestarazu, M.; Castillo, J.E.; Salas, M. Carmen. 2002. Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura*. 159, 18-26. [https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Hort%2FHort\\_2002\\_159\\_18\\_26.pdf](https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Hort%2FHort_2002_159_18_26.pdf)
- Uresti-Porras, J.G., Cabrera-De-La Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Olivares-Sáenz, E., Cabrera, R. I. and Juárez-Maldonado, A. 2021. Effect of Graft and Nano ZnO on Nutraceutical and Mineral Content in Bell Pepper. *Plants*.10(12), 2793. <https://doi.org/10.3390/plants10122793>



